

Untersuchungen zur Visualisierung zahnfarbener Füllungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med. dent.

an der Medizinischen Fakultät

der Universität Leipzig

eingereicht von:

Anna Dreißig, geb. Findeisen

geboren am 10.10.1990 in Wiesbaden

angefertigt am Institut für Rechtsmedizin der Universität Leipzig

1. Betreuer: Prof. Dr. med. Jan Dreßler

2. Betreuer: OA Dr. med. Carsten Hädrich

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 20.09.2016

⋮

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Bibliographische Beschreibung.....	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung.....	9
2. Literaturübersicht	11
2.1 Strukturelle Merkmale der Zahnhartsubstanz	11
2.2 Zahnfarbene Füllungsmaterialien und deren Bedeutung in der Zahnheilkunde	12
2.2.1 Komposite in der Zahnheilkunde	12
2.2.2 Glasionomerezemente	13
2.2.3 Kompomere	13
2.3 Eigenschaften der Zahnhartsubstanz und zahnfarbener Füllungsmaterialien	14
2.3.1 Optische Eigenschaften.....	14
2.3.2 Röntgenopazität	17
2.4 Adhäsivsysteme in der Zahnheilkunde	18
2.5 Methoden zur Visualisierung von zahnfarbenen Füllungsmaterialien	20
2.5.1 Diagnostische Methoden in der Zahnmedizin.....	20
2.5.2 Ultraviolettes Licht / UV-Fluoreszenz.....	20
2.5.3 Infrarot-Fotografie	21
2.5.4 Röntgen	21
2.5.5 Computertomographie	22
2.5.6 Schmelzfärbung.....	23

2.6	Die Bedeutung des Zahnstatus bei der Identifizierung unbekannter Leichen	23
3.	Aufgabenstellung.....	25
4.	Material und Methoden	26
4.1	Materialien	26
4.1.1	Zahnfarbene Füllungsmaterialien	26
4.1.2	Adhäsivsysteme	26
4.1.3	Ätzmittel und Färbelösung	27
4.2	Methoden zur Visualisierung zahnfarbener Füllungsmaterialien.....	27
4.2.1	Probenherstellung	27
4.2.2	UV-Fluoreszenz.....	29
4.2.3	Infrarot-Fotografie.....	29
4.2.4	Röntgen.....	30
4.2.5	Computertomographie	30
4.2.6	Schmelzfärbung.....	31
4.3	Methodenvergleich mittels Fragebogen	32
4.3.1	Statistische Auswertung	33
4.3.1.1	Sensitivität und Spezifität.....	33
5.	Ergebnisse.....	35
5.1	Überblick.....	35
5.2	Methodenabhängige Ergebnisse	38
5.2.1	UV-Fluoreszenz.....	39
5.2.1.1	Untersuchung der Fluoreszenz in Abhängigkeit der Materialgruppe	39

5.2.2	Infrarot-Fotografie	40
5.2.3	Röntgen	41
5.2.4	Computertomographie	41
5.2.5	Schmelzfärbemethode	41
5.3	Ergebnisse der Fragebögen	42
5.3.1	Ergebnisse der Untersuchung der einzelnen zahnfarbenen Füllungen .	42
5.3.1.1	Methodenabhängige Auswertung der Ergebnisse des Fragebogens	42
5.3.1.2	Berufsgruppenabhängige Auswertung der einzelnen Methoden	43
5.3.1.2.1	UV-Fluoreszenz	43
5.3.1.2.2	Röntgen.....	43
5.3.1.2.3	Schmelzfärbemethode	44
5.3.2	Betrachtung der ungefüllten Zähne	45
5.3.2.1	Methodenabhängige Auswertung der ungefüllten Zähne	45
5.3.2.2	Probandengruppenabhängige Auswertung der einzelnen Methoden für die ungefüllten Zähne	46
5.3.2.2.1	UV-Fluoreszenz	46
5.3.2.2.2	Röntgen.....	46
5.3.2.2.3	Schmelzfärbemethode	47
5.3.3	Sensitivität und Spezifität.....	48
5.3.3.1	Sensitivität und Spezifität der Methoden	48
5.3.3.2	Sensitivität und Spezifität der Methoden in Abhängigkeit der Probandengruppen.....	48
6.	Diskussion.....	50
6.1	Aufbau der Untersuchung	50

6.1.1	Materialauswahl.....	50
6.1.2	Füllungslokalisation und Füllungszahl	50
6.1.3	Der Fragebogen	51
6.1.3.1	Probandengruppen.....	51
6.1.3.2	Beurteilung der einzelnen Füllungen und jedes Zahns.....	51
6.1.3.3	Auswertung der Fragebögen	51
6.2	Diskussion der Methoden	52
6.3	Diskussion des Methodenvergleichs mittels Fragebogen	59
6.3.1	Untersuchung der gefüllten Zähne	59
6.3.2	Untersuchung der ungefüllten Zähne	61
6.4	Schlussfolgerungen	62
7.	Zusammenfassung	63
8.	Literaturverzeichnis	65
9.	Abbildungsverzeichnis.....	71
10.	Tabellenverzeichnis	73
11.	Anhang.....	75
12.	Danksagung.....	102
13.	Lebenslauf	103
14.	Ehrenwörtliche Erklärung.....	104

Bibliographische Beschreibung

Dreißig, Anna

Untersuchungen zur Visualisierung zahnfarbener Füllungen

Universität Leipzig, Dissertation

104 S., 61 Lit., 27 Abb., 29 Tab., 27 S. Anlagen

Referat:

Bei der postmortalen Befunderhebung an Zähnen im Rahmen der Identifikation unbekannter Leichen besteht die Möglichkeit, dass zahnfarbene Füllungen übersehen oder fehlgedeutet werden. Daraus entstehende Diskrepanzen zu den antemortalen Daten können zu Problemen bei der Identifikation führen. Ziel der Arbeit war daher die Ermittlung einer zuverlässigen und praxistauglichen Methode zum sicheren Erkennen von zahnfarbenen Zahnfüllungen bei der postmortalen Befunderhebung. Dazu wurden 50 menschliche Zähne mit zahnfarbenen Füllungen versorgt und mittels UV-Licht, digitaler IR-Fotografie, digitalem Röntgen, CT und einer Schmelzfärbemethode bezüglich der Erkennbarkeit der Füllungen untersucht. Die geeignetsten Methoden wurden zusätzlich anhand von Farbfotografien in Fragebögen beurteilt.

Die Schmelzfärbemethode erwies sich als die genaueste Methode, aber auch mit Hilfe der UV-Fluoreszenz konnten mit 97% nahezu alle Füllungen erkannt werden. Die Röntgendiagnostik ermöglichte das Erkennen von 80% der vorhandenen zahnfarbenen Füllungen. Das CT ist unzuverlässig und die Infrarot-Fotografie ist ungeeignet für diese Fragestellung.

Im Ergebnis dieser Studie kann die verbesserte Schmelzfärbung als sicherste Methode zur postmortalen Identifikation von zahnfarbenen Füllungen empfohlen werden. Als zuverlässige und schnelle „Screening Methode“ ist die Untersuchung mittels UV-Fluoreszenz geeignet. Für den sicheren Einsatz der UV-Fluoreszenz in der Rechtsmedizin sollten die Fähigkeiten der Rechtsmediziner im Umgang mit dieser Methode anhand praktischer Übungen geschult werden.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aufl.	Auflage
bzw.	beziehungsweise
Ca	Calcium
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie, Computertomograph
d.h.	das heißt
Gew. %	Gewichtsprozent
ggf.	gegebenenfalls
HE	Hounsfield Einheit
HEMA	Hydroxyethylmethacrylat
Hrsg.	Herausgeber
HE	Hounsfield Einheit
I	Intensität
IR	Infrarot
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekunde
min	Minute
mm	Millimeter
nm	Nanometer
P	Phosphat

s.	siehe
Sek.	Sekunde
Tab.	Tabelle
TEGDMA	Triethylen-Glycol-Dimethacrylat
u.a.	unter anderem
UV	Ultraviolett
W	Watt
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Zahnmedizinische Kenntnisse und Fertigkeiten werden in der Rechtsmedizin häufig eingesetzt, z. B. zur Identifikation von Leichen oder Lebenden, Abklärung von Bisswunden oder -spuren, bei der Beurteilung von Kindesvernachlässigung, bei der Begutachtung von Gewaltopfern und zahnärztlichen Behandlungsfehlern, bei der Geschlechtsbestimmung oder bei der Altersschätzung lebender oder verstorbener Personen (Perrier 1998; Röttscher 2000).

Die Identifikation einer Person anhand odontostomatologischer Merkmale ist eine schnelle, kostengünstige und zuverlässige Methode. Besonders in Fällen, bei denen von einem menschlichen Leichnam nur stark zersetzte, zerstörte oder wenige Überreste vorhanden sind, bilden die Zähne und die Kiefer einen verlässlichen Ansatz für eine erfolgreiche Identifikation (Perrier 1998), weil deren Hartsubstanzen gegenüber Fäulnis (Lessig und Benthaus 2003), Verwesung und physischen bzw. chemischen Einflüssen stabiler sind als die Weichgewebe (Perrier 1998) z. B. des Gesichtes (Identifikation durch Lichtbildvergleich oder Angehörige), der Haut (Identifikation anhand von Narben, Tätowierungen) oder der Finger (daktyloskopische Identifikation) (Dettmeyer und Verhoff 2011). Die Zähne werden auch bei Massenkatastrophen, wie einem Flugzeugabsturz zur Identifizierung von Personen genutzt (Röttscher 2000). Auch nach der Tsunami-Katastrophe 2004 in der Region Phuket, Thailand wurden die meisten Toten anhand der Zähne identifiziert (Schuller-Götzburg et al. 2005).

Das menschliche Gebiss mit seinen Abrasionen, seiner Zahnstellung und der Kombination aus fehlenden, restaurierten, unrestaurierten und zerstörten Zähnen ist einzigartig und individuell wie ein Fingerabdruck (Bush et al. 2006, Hermanson et al. 2008). Der Nachweis einer Füllung an einem postmortal noch vorhandenen Zahn kann die eindeutige Identifikation eines Opfers ermöglichen (Hermanson et al. 2008). Selbst ein füllungsfreies, naturgesundes Gebiss zeigt aufgrund seiner Struktur eine hohe Individualität, die eine Identifizierung ermöglichen kann (Lessig und Benthaus 2003). Um mit Hilfe einer postmortalen Gebissituation eine Identifikation zu ermöglichen, ist eine hohe Qualität der Dokumentation des antemortalen Zahnstatus durch den Zahnarzt notwendig (Schuller-Götzburg et al. 2005). Darüber hinaus stellen die Zähne aufgrund ihrer Beständigkeit eine gute DNA-Quelle zur Genanalyse bzw. molekulargenetischen Identifizierung dar (Pretty und Sweet 2001).

Die Ästhetik spielt in der heutigen Zeit eine große Rolle und hat Auswirkungen auf die konservierende Zahnheilkunde (Rüttermann et al. 2007). Sichtbar wird dies an den immer häufiger gelegten zahnfarbenen Füllungen und den von über 60 verschiedenen Herstellern erhältlichen Kompositen. Sowohl für die Zahnärzte, als auch für die Rechtsmediziner stellt daher die Erkennung der zahnfarbener Füllungen eine zunehmende Herausforderung dar (Hermanson et al. 2008).

Den Stellenwert zahnfarbener Füllungen bei der Identifikation unbekannter Leichen spiegelt sich in einem Ereignis in Australien, im September 1934, wider. Dort fand ein junger Landwirt eine schwer verbrannte Leiche einer jungen Frau. Nach der Autopsie am folgenden Tag stellte ein Zahnarzt einen Zahnstatus auf, wobei 6 Füllungen identifiziert werden konnten. Es wurde angenommen, dass es sich bei der Leiche um L.A. handelt. Nach Konsultation ihres Zahnarztes war aber keine positive Identifikation möglich, da er bei der Patientin 8 Füllungen gelegt hatte. Die verantwortlichen Polizisten legten dabei Hauptaugenmerk auf den visuellen Vergleich zwischen der Leiche und den vermissten Frauen. Da der Fall nicht gelöst werden konnte, wurde die Leiche an der Universität von Sydney konserviert. Zehn Jahre später wurde der Fall zwei neuen Polizisten anvertraut, welche einen weiteren Zahnarzt einbezogen. Dieser erkannte zwei vorher übersehene zahnfarbene Prämolarenfüllungen. Dies ermöglichte die Identifikation der Leiche als L.A., welche 1934 in einem Streit von ihrem Mann getötet wurde. Der Ehemann gestand seine Tat und wurde aufgrund von Todschlags inhaftiert. Dieser Fall machte deutlich, dass neben körperlichen Merkmalen auch die Zähne eine wichtige Rolle bei der Identifikation von Leichen spielen und welche Auswirkungen das Übersehen zahnfarbener Füllungen hat (Brown 1982; Benthaus et al. 1998).

2. Literaturübersicht

2.1 Strukturelle Merkmale der Zahnhartsubstanz

Ein Zahn besteht aus einer Krone (Corona dentis) und mindestens einer Wurzel (Radix dentis), welche durch den Zahnhals (Cervix dentis) miteinander verbunden sind. Strukturell sind die Zähne aus den Zahnhartsubstanzen Schmelz, Dentin und Zement aufgebaut, im Inneren befindet sich die Pulpenhöhle (Cavitas dentis, Pulpa dentis) (Schünke et al. 2006, Abb. 1).

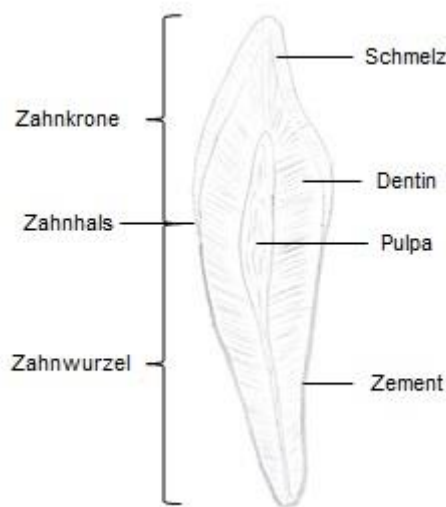


Abb. 1: Aufbau des Zahns (modifiziert nach Schünke et al. 2006)

Zahnschmelz

Der Zahnschmelz besteht zu etwa 97 Gew. % aus anorganischen Bestandteilen, 1,5 Gew.% aus Wasser und zu etwa 1,5 Gew.% aus organischen Bestandteilen (Tab. 1; Arnold, 2006). Die organischen Verbindungen bestehen aus ca. 58% Proteinen, 40% Lipiden und Spuren von Kohlenhydraten, Ziträt und Laktat (Hellwig et al. 2010). Die anorganische Komponente setzt sich aus Spurenelementen wie Magnesium, Kalzium (Ca), Karbonat, Phosphor (P) und Natrium zusammen. Kalzium und Phosphor liegen in Form von Apatitverbindungen, überwiegend dem Hydroxylapatit, vor. Die Apatitkristalle bilden die kleinste Struktur des Schmelzes, welche sich zu Schmelzprismen zusammenlagern (Arnold, 2006).

Tab. 1: Zusammensetzung von Schmelz und Dentin (vereinfachte Mittelwertdarstellung) (Arnold, 2006)

	Anorganische Bestandteile in Gew. %	Wasser in Gew. %	Organische Bestandteile in Gew. %
Zahnschmelz	97 (davon Ca 37, P 18)	1,5	1,5
Dentin	70 (davon Ca 35, P 17)	10	20

Dentin

Das Dentin ist mit 70 Gew. % anorganischem und 20 Gew. % organischem Material weniger stark mineralisiert als Schmelz. Wasser bildet einen Anteil von 10 Gew. % (Tab. 1). Kollagen Typ I bildet den Großteil der organischen Matrix. Die anorganischen Bestandteile Kalzium und Phosphat liegen in kristalliner Form als Apatit vor. Im Gegensatz zum Schmelz bildet es keine Prismen, sondern eine Art Verbundstoff aus organischen und anorganischen Bestandteilen (Arnold, 2006).

2.2 Zahnfarbene Füllungsmaterialien und deren Bedeutung in der Zahnheilkunde

(Komposit-) Füllungen können aus folgenden Indikationen gelegt werden: Ersatz und Wiederherstellung von zerstörter Zahnhartsubstanz, Kariestherapie, Trauma, Erosionen, Abrasionen und Attritionen, Farbkorrekturen, Diastemaverschluss und andere Formkorrekturen, Aufbau von Zähnen (z.B. Zapfenzähne), interdentaler Lückenschluss (Papillenregeneration) oder auch zur (provisorische) Änderung der vertikalen Relation (Frankenberger 2009).

2.2.1 Komposite in der Zahnheilkunde

Komposite sind zusammengesetzte, zahnfarbene, plastische Füllungsmaterialien (Hellwig et al. 2010), welche chemisch oder durch Energiezufuhr aushärten. Die drei Hauptbestandteile zahnärztlicher Komposite sind die organische Matrix, die disperse Phase (Füller) sowie die Verbundphase (Silane, Tab. 2). Das Silan ermöglicht eine chemische Bindung zwischen der organischen Matrix und den anorganischen Füllern (Hervás-García et al. 2006).

Tab. 2: Bestandteile zahnärztlicher Komposite (Hervás-García et al. 2006)

Bestandteile Kunststoffmatrix	Abkürzung - Kurzbeschreibung	Chemische Bezeichnung
organische Matrix		
Monomer	Bis-GMA	Bisphenol-A-Diglycidyl-Methacrylat
	UDMA	Urethandimethacrylat
Viskosität-beeinflussende Monomere	TEGDMA	Triethylen-Glycol-Dimethacrylat
	EGDMA	Ethylen-Glycol-Dimethacrylat
	MMA	Methylmethacrylat
Initiator (Photopolymerisat)		Kampferchinon
Initiator (Autopolymerisat)		Benzoylperoxid
Inhibitor		Hydrochinon-Monomethyl-Ether
<hr/>		
Verbundphase	Silan	
<hr/>		
Disperse Phase	SiO ₂ (Quarz, Glas)	Lithium-Aluminium-Silikat
radiopake Füllstoffe		Barium, Strontium, Aluminium

Kompositmaterialien sind sehr techniksensitiv, weshalb immer eine gute Trockenlegung gewährleistet sein muss. Komposite können für alle Kavitätenklassen im Milch- und bleibenden Gebiss eingesetzt werden (Hervás-García et al. 2006).

2.2.2 Glasionomerzemente

Glasionomerzemente bestehen aus einem Pulver aus Fluoro-Aluminiumsilikat-Glas und einer wässrigen Lösung aus Polyacrylsäure. Unter Säure-Base Reaktion bindet das Material ab. Um die Füllung vor Dehydratation aber auch vor Speichelzutritt zu schützen, wird bei manchen Glasionomerzementen nach Füllungsanarbeitung ein lichthärtender Schutzlack aufgetragen. Aufgrund der lang andauernden Fluoridfreigabe wirken diese Zemente antikariogen und werden daher bei erhöhtem Kariesrisiko eingesetzt. Mit Glasionomerzementen können Klasse I und kleinflächige Klasse II Füllungen im Milch- und bleibenden Gebiss, als auch Klasse III und V Kavitäten versorgt werden. Außerdem werden sie für Unter-, Aufbau- und semipermanente Füllungen und auch als Befestigungszemente eingesetzt (Sidhu 2011).

2.2.3 Kompomere

Kompomere sind eine Kombination aus Komposit und Glasionomerzement. Sie bestehen aus polyacryl-/polycarbonsäuremodifizierten Kompositen. Dabei sollen die Eigenschaften der Komposite, wie hohe Festigkeit (gegenüber Glasionomerzemen-

ten) und Ästhetik, mit denen der Glasionomerzemente (Fluoridfreisetzung und direkte Haftung an die Zahnhartsubstanz) kombiniert werden. Die Polymerisation erfolgt zuerst durch Lichtzufuhr und sekundär als Säure-Base-Reaktion an der Oberfläche in Folge von Feuchtigkeitzufuhr. Aufgrund der mit Kompositen verglichenen geringeren Abrasionsstabilität kommen Kompomere besonders im Milchzahngewiss zum Einsatz und an Klasse V Kavitäten bleibender Zähne (Mondelli et al. 2005, Zimmerli et al. 2010).

2.3 Eigenschaften der Zahnhartsubstanz und zahnfarbener Füllungsmaterialien

Der Zahnschmelz steht in deutlichem Zusammenhang mit der Farbe des Zahns (Li et al 2012). Die Hersteller der Kompositmaterialien haben die optischen Eigenschaften der Komposite, wie Transluzenz und Farbton, der natürlichen Zahnhartsubstanz so angepasst, dass sie visuell nicht voneinander zu unterscheiden sind und somit eine gute Ästhetik realisierbar ist (Hermanson et al. 2008). Zimmerli et al. (2010) beschrieben die grundlegenden Anforderungen, welche an zahnärztliche Füllungsmaterialien gestellt werden. Dazu zählen mit der Zahnhartsubstanz vergleichbare gute optische und physikalische Eigenschaften, die Röntgenopazität und der deutliche Unterschied zum Zahn in der Röntgenaufnahme, außerdem die einfache Verarbeitung und Polierbarkeit. Eine wichtige Rolle spielen auch die Geschmacksneutralität und eine möglichst hohe Biokompatibilität (Zimmerli et al. 2010).

2.3.1 Optische Eigenschaften

Trifft Licht auf transluzente Objekte, wie zum Beispiel einen Zahn, sind verschiedene optische Phänomene zu beobachten. Ein Teil des Lichts tritt durch den Zahn hindurch, es kommt aber auch zur Absorption, Reflexion, der diffusen Lichtreflexion, der Streuung und zur Fluoreszenz (Abb. 2) (Benedict 1928, Villarroel et al. 2011).

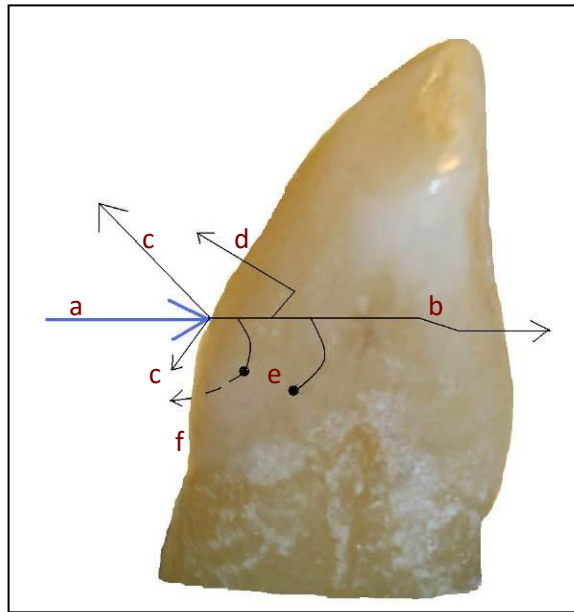


Abb. 2: Optische Phänomene am Zahn

Fällt Licht (a) auf einen Zahn, treten die optischen Phänomene der Transmission (b), Reflexion (an glatten Flächen; Einfallswinkel des Lichts = Reflexionswinkel des Lichts), diffusen Lichtreflexion (c), Streuung (d), Absorption (e) und Fluoreszenz (f) auf (Benedict 1928, Villarroel et al. 2011; modifiziert nach R. Haak).

Die nachfolgend erläuterten optischen Eigenschaften erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es sind lediglich diejenigen Eigenschaften erläutert, welche für die durchgeführte Studie relevant waren.

Transluzenz und Opazität

Die Parameter Transluzenz und Opazität beschreiben die Lichtdurchlässigkeit eines Materials. Lässt ein Körper einen großen Anteil einer einfallenden Lichtintensität (I_0) hindurch, besitzt er eine große Transluzenz und eine geringe Opazität. Die Oberflächenbeschaffenheit eines Materials hat einen großen Einfluss auf dessen Lichtdurchlässigkeit. Je stärker das einfallende Licht reflektiert und/oder absorbiert wird, umso geringer ist dessen Transluzenz, welche auch mit zunehmender Schichtdicke abnimmt. Die Opazität wird demnach größer. Zahnfarbene Füllungsmaterialien ermöglichen aufgrund von unterschiedlichen transluzenten und opaken Farben die optische Erscheinung natürlicher Zähne nachzuempfinden. (Villarroel et al. 2011).

Fluoreszenz

Stokes beschrieb 1852 als erster das Phänomen der Fluoreszenz. Die Eigenschaft der Fluoreszenz beschreibt die kurzzeitige, spontane Lichtemission beim Übergang

eines elektrisch angeregten Systems in einen Zustand niedriger Energie. Ein Teil der absorbierten, kurzwelligen Strahlung wird in Form von langwelligem, energieärmerem Licht abgegeben. Die Fluoreszenz als Form der Lumineszenz (kaltes Leuchten) ist auf die Dauer der einwirkenden Strahlung begrenzt (Krause 2008). Die Ursprungsenergie entspricht ultravioletter Strahlung (Stübel 1911).

Die Struktur eines Gewebes bestimmt die Intensität der vom Gewebe abgegebenen Fluoreszenz. Die Intensität ist umso stärker, je dichter, wasserfreier und fester ein Gewebe ist und je weniger mit Flüssigkeit gefüllte Hohlräume im Gewebe eingeschlossen sind (Stübel 1911).

Die natürliche Zahnoberfläche gibt infolge von UV Strahlung eine weißlich-blaue Fluoreszenz ab. Um das Erscheinungsbild der natürlichen Zahnhartsubstanz zu imitieren, ist es wichtig, dass die Komposite ebenfalls die Eigenschaft der Fluoreszenz aufweisen (Lutskaya et al. 2011). Die Fluoreszenz wird durch die organischen Bestandteile der Kompositmatrix ermöglicht (Hermanson et al. 2008), die genauen fluoreszierenden Zusätze sind jedoch nicht bekannt (Takahashi et al. 2008). Fehlt den Materialien diese Fähigkeit, erscheinen die mit Kompositfüllungen versehenen Bereiche gegenüber der Umgebung dunkel. Sowohl die Farbe (violett oder bläulich-grün) als auch die Intensität der Fluoreszenz der Füllungsmaterialien kann sich von derjenigen der Zähne unterscheiden (Lutskaya et al. 2011).

Lutskaya et al. (2011) untersuchten das Fluoreszenzverhalten von Dentin, Schmelz und Füllungsmaterialien. Die verschiedenen Bestandteile der Zahnkrone weisen altersabhängig ein unterschiedliches Fluoreszenzverhalten auf. Die Intensität des stärker fluoreszierenden Dentins wird durch den weniger fluoreszierenden Schmelz abgeschwächt, dies entspricht der Gesamtfluoreszenz. Die Gesamtfluoreszenz ist bei jungen und älteren Patienten annähernd gleich (Lutskaya et al. 2011). Hermanson et al. (2008) fanden heraus, dass Komposite sowohl eine stärkere als auch eine schwächere Fluoreszenzintensität als die Zahnhartsubstanz aufweisen können. Beide Erscheinungen erzeugen einen Kontrast zum natürlichen Zahn und ermöglichen somit deren Identifizierung. Glasionomerezemente liegen in ihrem Intensitätsbereich weit unterhalb des Schmelzes (Lutskaya et al. 2011). Rüttermann et al. (2007) beschrieben folgende grundlegende Anforderungen an klinisch nutzbare Dentalkomposite:

- Farblosigkeit im sichtbaren Licht
- Fluoreszenz bei Bestrahlung mit nicht sichtbarem Licht
- keine Fluoreszenz unter normalem Tageslicht, Sonnenlicht, Solarium, Disko-licht und anderen normalen Lichtquellen
- die fluoreszierenden Bestandteile haben keinen negativen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften und die Farbstabilität
- leichte Herstellung.

2.3.2 Röntgenopazität

Die Röntgenopazität von Zahnhartsubstanz und Füllungsmaterial soll voneinander verschieden sein. Die unterschiedliche Erscheinung im Röntgenbild zeigt klinische Relevanz bei der Detektion von Randspalten und Sekundärkaries. Die ISO 4049:1988 (E) beschreibt, dass die Röntgendichte einer 2mm dicken Kompositfüllung größer als die einer 2mm dicken Aluminiumplatte sein muss. Mittels Aluminiumgleichwertdicke wird die Röntgenopazität einer Füllung angegeben. Dieser Wert beschreibt die Stärke einer Aluminiumplatte, welche die gleiche Röntgendichte wie eine 2 mm dicke Platte des Komposits aufweist (Europäische Patentschrift 2003). Abbildung 3 dokumentiert die Aluminiumgleichwertdicke verschiedener zahnfarbener Füllungsmaterialien, sowie von Schmelz und Dentin (Schmidseder und Munz 2009).

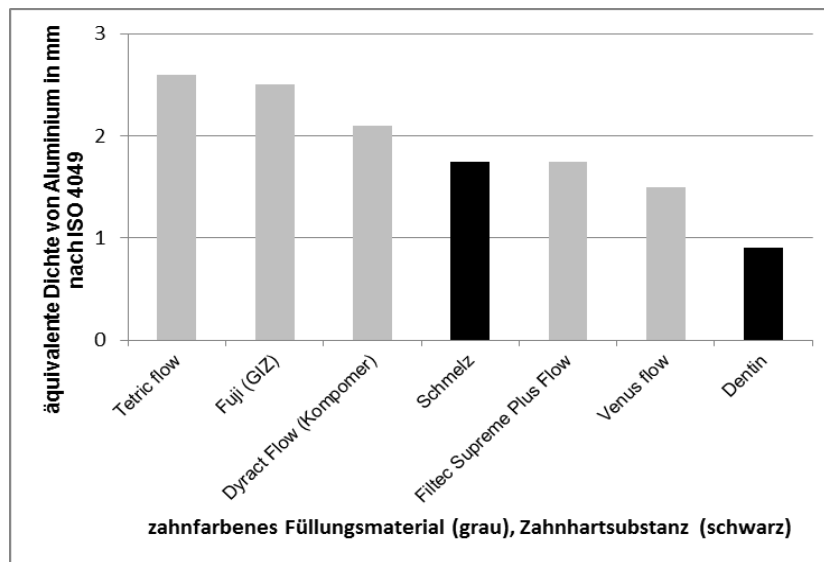


Abb. 3: Die Röntgenopazität von Kunststoffen im Vergleich zur Zahnhartsubstanz

Die Röntgenopazität (angegeben als Aluminiumgleichwertdicke) von 5 verschiedenen zahnfarbenen Füllungsmaterialien (u.a. ein Kompomer und Glasionomermaterial (GIZ)) und der Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin. Die Röntgendichte der verschiedenen Materialien weist unterschiedliche Werte auf, wobei die Röntgenopazität überwiegend im Bereich zwischen Schmelz und Dentin liegt, oder eine höhere Intensität als Schmelz aufweist. Je höher die Aluminiumgleichwertdicke ist, umso höher ist die Röntgenopazität (Abbildung modifiziert nach Schmidseider und Munz 2009).

Der Zusatz röntgenopaker Füllstoffe ermöglicht die Röntgenopazität zahnfarbener Füllungsmaterialien. Zum Einsatz kommen dabei beispielsweise Barium-, Strontium-, Zirkonium- oder Ytterbium- Gläser (Hermanson et al. 2008). Auch Glasionomermaterialien sind röntgenopak durch den Zusatz von Strontium-, Barium- oder Lanthan-Gläsern (Iqbal 2012). Je nach Füllstoffzusammensetzung werden die Röntgenstrahlen von Füllungsmaterialien unterschiedlich stark absorbiert, wodurch es zu verschiedenen Schwärzungen des Röntgenfilms kommt (Du Chesne et al. 1999).

2.4 Adhäsivsysteme in der Zahnheilkunde

Adhäsivsysteme in der Zahnmedizin dienen der Optimierung des Randschlusses zwischen Kompositen und Schmelz bzw. Dentin. Die Haftkraft der Adhäsive muss verschiedenen Belastungen standhalten, welche auf die Restaurationen einwirken. Dabei handelt es sich um die bei der Polymerisation auftretenden Spannungen, als auch mechanische, thermische und hydratationsbedingte Belastungen (Blunck und Zaslansky 2007).

Adhäsivsysteme bestehen aus Konditionierer, Primer und Adhäsiv (Bonding). Zum Ätzen eignet sich 30 bis 40 %ige Phosphorsäure (H_3PO_4) (Van Meerbeek et al. 2001). Primer bestehen aus hydrophilen Monomeren, welche sich in Lösungsmitteln, wie Wasser, Alkohol oder Aceton, befinden. Adhäsive bestehen aus einem Gemisch von verzweigten, hydrophoben (z.B. TEGDMA) und funktionellen, hydrophilen (z.B. HEMA) Monomeren. Sie enthalten Initiatoren, welche eine Lichtpolymerisation oder chemische Aushärtung ermöglichen (Van Landuyt et al. 2007).

Van Meerbeek et al. (2001) unterscheiden *'etch and rinse'*, *'self etch'* und *'Resin-modified glass-ionomer'* Adhäsive (Abb. 4).

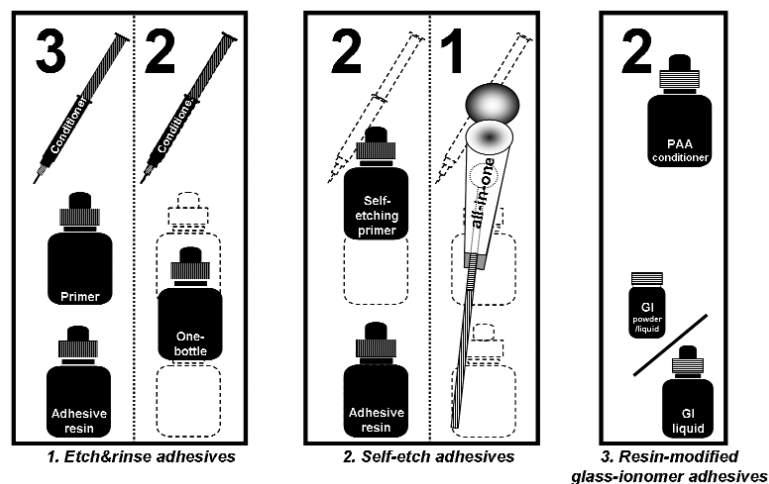


Abb. 4: Die Einteilung der Adhäsivsysteme

Van Meerbeek et al. unterscheiden *'etch and rinse'*, *'self etch'* und *'Resin-modified glass-ionomer'* Adhäsive. Die Applikation der *'etch and rinse'* Adhäsivsysteme kann sowohl in zwei, als auch drei Schritten erfolgen, wobei der Ätzgang zu Beginn beider Varianten gemeinsam ist. Das Zwei-Flaschen System kombiniert den zweiten und dritten Schritt, durch Applikation eines Primer-Adhäsiv-Gemischs. Außerdem wurden selbstätzende Adhäsive entwickelt, welche in ein oder zwei Schritten appliziert werden. Die Zwei-Flaschen-Systeme bestehen aus selbstätzenden Primer und Adhäsiv, wohingegen die *all-in-one* Materialien Konditionierer, Primer und Adhäsiv in einer Flasche kombinieren. Die kunststoffmodifizierten Glasionomer- (*'Resin-modified glassionomer'*) Adhäsive nutzen die Fähigkeit der Glasionomerzemente direkt am Zahn zu Haften und ermöglichen einen Halt der Kunststoffe zur Zahnhartsubstanz (Van Meerbeek et al. 2001).

Grundsätzlich benötigen Glasionomerzemente kein Adhäsivsystem, da sie durch Ausbildung von Ionenbindungen zwischen ihren Carboxylgruppen und den Calcium-

Ionen der Apatitkristalle von Schmelz und Dentin eine eigenständige Haftung aufweisen (Yoshida et al. 2000). Die Glasionomerezemente sind heute in fertigen Kapseln erhältlich. Durch Aktivieren wird die Flüssigkeit in das Pulver gedrückt und anschließend wird das Material nach Herstellerangaben mechanisch angemischt. (Sidhu 2011).

Für die Haftung an der Zahnhartsubstanz benötigen Kompomere ein Adhäsivsystem, da sonst eine ungenügende Haftung zum Zahn besteht. Die Haftvermittler entsprechen denen der Komposite (Zimmerli et al. 2010).

2.5 Methoden zur Visualisierung von zahnfarbenen Füllungsmaterialien

2.5.1 Diagnostische Methoden in der Zahnmedizin

Die Darstellung zahnfarbener Füllungen erfolgt in der zahnärztlichen Praxis vor allem durch die Untersuchung mit Spiegel und Sonde, um visuell und taktil die Füllung zu lokalisieren. Bush et al. 2010 beschrieb zusätzlich eine Methode, die Zähne mit Phosphorsäure anzuätzen. Durch den Ätzvorgang wird die Zahnoberfläche rau und kreidig, das Füllungsmaterial verändert seine Oberflächenbeschaffenheit jedoch nicht. Da diese Methode die Zahnhartsubstanzstruktur angreift, die Bewertung subjektiv ausfällt und zeitintensiv ist, erscheint sie eher ungeeignet. Es wurden bereits Färbemittel entwickelt, welche jedoch eher in der Rechtsmedizin Anwendung finden und für den klinischen Gebrauch ungeeignet sind. Im Rahmen der Darstellung und vollständigen Entfernung alter Kunststofffüllungen, kam es zur klinischen Anwendung von UV-Licht (Bush et al. 2010).

2.5.2 Ultraviolettes Licht / UV-Fluoreszenz

Ultraviolette (UV) – Strahlen sind kurzwellige Strahlen im Bereich unter 400 nm und gehören zum Spektrum des nicht sichtbaren Lichts. Trifft UV- Strahlung auf ein Objekt, kann Fluoreszenz ausgelöst werden (Lutskaya et al. 2011). Bush et al. 2010 beschreiben die Fluoreszenz als die Fähigkeit eines Objektes, kurzwelliges Licht zu absorbieren und die aufgenommene Energie in Form von sichtbarem, langwelligem Licht zu emittieren. Die natürliche Zahnhartsubstanz weist bei Beleuchtung mit UV-Licht eine typische Fluoreszenz auf. Dentin fluoresziert dabei stärker als Schmelz, Schmelz schwächt die Fluoreszenz des Dentins ab. Um dem hohen Anspruch besonders jüngerer Patienten gerecht zu werden, zum Beispiel auch in Diskotheken mit

sog. „Schwarzlicht-Beleuchtung“ das natürliche Aussehen der Zähne zu garantieren, werden den Füllungsmaterialien Zusatzstoffe hinzugefügt, um ein möglichst zahnähnliches Fluoreszenzverhalten zu erreichen (Lutskaya et al. 2011; Bush et al. 2010). Das Schwarzlicht, wie zum Beispiel in Diskotheken, liegt im nahen UV-Bereich (Wright und Golden 2010).

Die Untersuchung unter Anwendung von ultraviolettem Licht wird in der Rechtsmedizin bereits seit mehreren Jahren praktiziert z.B. zur Darstellung von Myokardfibrosen bei Autopsien (Bohnert et al. 2000) oder zum Erkennen älterer Hautunterblutungen bei Bissverletzungen (Wright und Golden 2010).

2.5.3 Infrarot-Fotografie

Infrarot- oder Wärmestrahlung besteht aus langwelligen, nicht sichtbaren Strahlen einer Wellenlänge von 780 nm bis 1 mm (Meffert und Piazena 2002; Lutskaya et al. 2011).

Aufgrund der langen Wellenlänge dringt Infrarotstrahlung bis zu 3 mm in die Haut ein. In der Rechtsmedizin wird die Infrarotfotografie genutzt um z.B. Verletzungen unter der Hautoberfläche oder abgeblasste Tätowierungen darzustellen. Mittels Infrarotfotografie ist beispielsweise auch die Erkennung und Dokumentation von Schmauchspuren, Blut, Tumoren und subkutanen Wunden möglich (Wright und Golden 2010). In der Zahnmedizin kommen Laserdioden im Infrarotbereich zur Behandlung von postoperativen Wunden und Entzündungen zum Einsatz (Pioch 2005).

2.5.4 Röntgen

Wilhelm Conrad Röntgen entdeckte 1895 eine unsichtbare Strahlung, welche er als X-Strahlen bezeichnete. In seinen Experimenten durchleuchtete er seine Hand und fand somit die Möglichkeit Knochen sichtbar zu machen (Röntgen 1898). Bereits 1896 erfolgten die ersten Zahnaufnahmen durch O. Walkhoff und W. König, welche aufgrund einer Belichtungszeit von 25 Minuten eine hohe Strahlenbelastung aufwiesen und diagnostisch nicht verwendbar waren (Düker 2006).

Die Röntgendiagnostik spielt in der zahnärztlichen Praxis eine wichtige Rolle und wird regelmäßig in Form des Orthopantomogramms, der Bissflügelaufnahme und des Zahnfilms eingesetzt (Düker 2006).

Seit der Einführung des digitalen Röntgens in den achtziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts kommt es zunehmend zur Verbreitung digitaler Röntgengeräte. Dabei kommen konventionelle Röntgenröhren als Strahlungsquelle und Festkörpersensoren oder Speicherfolien als Bildempfänger zum Einsatz. Unabhängig von der Wahl des Empfängers, wird das generierte digitale Signal in Form von Graustufen auf dem Monitor dargestellt (Schulze 2006). Wesentliche Vorteile der digitalen Radiologie sind die Verkürzung der Belichtungszeit und die damit verminderte Strahlenbelastung für den Patienten sowie die schnellere Verfügbarkeit, leichtere Nachbearbeitung und digitale Speicherung der Bildinformation (Molander et al. 2004; Wenzel 2006).

In der rechtsmedizinischen Praxis dienen konventionelle (und computertomografische) Röntgenaufnahmen von Lebenden und Verstorbenen bereits seit Jahrzehnten als Gutachtengrundlage z. B. bei der forensischen Identifikation und Altersschätzung, in der forensischen Traumatologie, zur Verletzungsdokumentation und Hergangskonstruktion (Dettmeyer et al. 2014) sowie bei der Beurteilung von medizinischen Behandlungsfehlern (Heinemann et al. 2013).

2.5.5 Computertomographie

Godfrey Hounsfield entwickelte in den 1970er Jahren die Computertomographie (CT) und damit ein wichtiges Hilfsmittel für die medizinische Diagnostik (Kara und Nowarra 2014).

Die postmortale forensische Computertomographie (PMCT) dient v.a. der Darstellung von Frakturen, Fremdkörpern, Blutungen und Gas im Körper, als auch der Befunddokumentation und -archivierung (Schweitzer et al. 2014). Das zur Jahrtausendwende etablierte Virtopsy-Projekt zeigt den Stellenwert der Kombination von virtueller Obduktion und realer Autopsie zur Steigerung der diagnostischen Qualität (Thali et al. 2007). Der Vergleich postmortaler CT-Aufnahmen mit antemortalen Röntgenbildern, wie dem Orthopantomogramm, kann eine Identifizierung unbekannter Leichen ermöglichen. Im CT kann durch Vergleich von Dichtewerten häufig genutzter dentaler Füllungsmaterialien auch das verwendete Restaurationsmaterial bestimmt werden (Jackowski et al. 2006).

2.5.6 Schmelzfärbung

Die Schmelzfärbemethode nach Benthaus et al. ist eine Möglichkeit zur Darstellung zahnfarbener Füllungsmaterialien an extrahierten bzw. postmortal untersuchten Zähnen. Bei der Methode sollen sich die Kompositfüllungen nach erfolgtem Ätz- und Färbeschritt von der angefärbten Zahnhartsubstanz abheben. Die zu untersuchenden Zähne werden zunächst mit Zahnbürste und Wasser gesäubert und anschließend die Zahnkronen für zwei Minuten mit 37%-iger Phosphorsäure geätzt (Benthaus et al. 1998). Analog der Schmelzätzung bei Füllungstherapie entsteht ein Ätzmuster mit unterschiedlich tiefen Rauigkeiten (Van Meerbeek et al 2001). Lediglich die Zahnhartsubstanz wird beim Ätzschritt angeraut, Füllungsmaterialien bleiben davon unberührt. Daraufhin erfolgt das Färben der Krone mit blauer Tusche. Die Farbpigmente dringen in die angeraute Schmelzoberfläche ein, während sie von glatten Füllungsoberflächen und Bondingresten abperlen. Somit werden die Ausdehnungen von Restaurationen beurteilbar (Benthaus et al. 1998).

2.6 Die Bedeutung des Zahnstatus bei der Identifizierung unbekannter Leichen

Grundlage der Identifizierung unbekannter Leichen über vergleichende Untersuchungen des Gebisses ist der antemortem dokumentierte Befund (Haffner et al. 1997). Dabei können z.B. die Lage, Form und Größe der Füllung bzw. des Zahnersatzes und das verwendete Material für die Identifizierung genutzt werden (Jackowski et al. 2006). Die antemortal erhobenen und dokumentierten zahnärztlichen Befunde unterscheiden sich sowohl in deren Qualität als auch der Quantität. Die Dokumentationspflicht in Deutschland beschränkt sich auf den „01-Befund“, auch Minimalbefund, welcher bei der Krankenkasse als Erst- und Recallbefund abrechenbar ist. Dabei erfolgt die Dokumentation fehlender, zerstörter und kariöser Zähne (Röttscher 2000), ggf. werden auch Kronen, Brücken und Lückenschlüsse notiert (Haffner et al. 1997). Bereits vorhandene Füllungen, der „Status praesens“, werden jedoch über diesen Befund nicht erfasst. Jeder Zahnarzt ist lediglich verpflichtet die von ihm durchgeführten Behandlungsschritte, mit Lokalisation und Material der Füllung bzw. der Restauration aufzuzeichnen.

Aus forensischen Gründen legt das Flugmedizinische Institut der Luftwaffe Fürstentfeldbruck für jeden Flieger eine zahnbezogene Datenbank an, um die Identifizierung

bei Unglücksfällen zu ermöglichen. Diese beinhaltet auch die Fotodokumentation von Ober- und Unterkiefer (Hausmann et al. 1997).

Um eine Identifizierung zu ermöglichen ist ein korrekter postmortal erfasster Zahnstatus notwendig (Hausmann et al. 1997). Durch Brandeinwirkung oder auch postmortalen Zahnverlust kann der tatsächliche Zahnstatus, wie er bei Eintritt des Todes bestand, verfälscht, bzw. dessen Erfassung erschwert werden (Haffner et al. 1997). Dabei kann z.B. die Beurteilung der Zahnalveolen noch Anhalt für eventuell vorhandenen gewesene Zähne geben (Lessig und Benthaus 2003). Die postmortale Befundung der Kiefer sollte möglichst unter Vermeidung der Kieferentnahme geschehen. Nur unter Absprache und Genehmigung mit der zuständigen Polizei und Staatsanwaltschaft kann eine Unterkieferentnahme oder in Ausnahmefällen auch die Entnahme beider Kiefer für die zahnärztliche Befundung erfolgen (Lessig et al. 2009).

Vor Befunderhebung sollte eine Reinigung der Zähne erfolgen, da z.B. durch Blut und Fäulnisflüssigkeit diese so verschmutzt sein können, dass zahnfarbene Füllungen und kleinere Identitätsmerkmale übersehen werden können. Ein falsch oder unvollständig erstellter Zahnbefund kann wiederum zu schweren Fehlern bei der Identifizierung führen (Lessig und Benthaus 2003). Lessig und Benthaus (2003) fassten die Angaben zusammen, die in einem postmortalen Zahnstatus enthalten sein sollten:

- Füllungen der einzelnen Zähne mit Angabe der Füllungsflächen
- Füllungsmaterial
- prothetische Versorgungen
- evtl. vorhandene kieferorthopädische Apparate
- Anomalien in Zahnzahl, Zahnform und Zahnstellung
- Wurzelkanalfüllungen, Implantate, ggf. weitere Besonderheiten

3. Aufgabenstellung

Die heutige Gesellschaft stellt einen hohen Anspruch an ein ästhetisches, natürlich aussehendes Gebiss. Die Bedeutung von Kompositfüllungen zur Restauration von Front- und Seitenzähnen steigt kontinuierlich an, da mit diesen direkten Füllungsmaterialien die besten ästhetischen Ergebnisse zu erreichen sind. Derzeitig gibt es eine Vielzahl zahnfarbener Füllungsmaterialien, welche optisch der natürlichen Zahnhartsubstanz ähneln. Dies ermöglicht ein nahezu perfektes zahnähnliches Aussehen, birgt aber Schwierigkeiten in der Unterscheidung zwischen eigenem Zahn und Restauration. Dieser Fortschritt stellt auch im Alltag von Rechtsmedizinern eine Herausforderung bei der Erhebung des Zahnstatus zur Identifikation von unbekannten Verstorbenen dar.

Fragestellung

Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Frage, wie zahnfarbene Füllungen bei der postmortalen rechtsmedizinischen Befunderhebung möglichst sicher, eindeutig und schnell identifiziert werden können. Es soll diejenige Methode bzw. Methodenkombination mit der höchsten Sensitivität und Spezifität sowie optimaler Praxis-tauglichkeit eruiert werden.

4. Material und Methoden

4.1 Materialien

4.1.1 Zahnfarbene Füllungsmaterialien

Um bei dieser Studie ein breites Spektrum an Materialien untersuchen zu können, wurden Füllungsmaterialien verschiedener Hersteller verwendet. Die Materialien wurden analog der Herstellerangaben verarbeitet. Die Tabelle 3 zeigt die verarbeiteten Füllungsmaterialien, geordnet nach der Art des Materials.

Tab. 3: verwendete Füllungsmaterialien

Art des Füllungsmaterials	Füllungsmaterial	Hersteller
Glasionomerzement	Equia Fil+G Coat Plus	GC
	Amaris	Voco
	Amelogen Plus	Ultradent
	Beautiful flow plus	SHOFU
	Ceram X Duo	Dentsply
	Ceram X Mono	Dentsply
	Ecu Sphere Shape	DMG
	Estelite Flow Quick	Tocuyama
	EsteliteΣ Quick	Tocuyama
	Filtek Z500	3M Espe
	G-aenial	GC
	Grandio	Voco
	Grandio Flow	Voco
	Grandio SO	Voco
	Luxa Flow Star	DMG
	N'D	Septodont
	Nepa Fil	Merz
	Palfique EsteliteLV	Tocuyama
	Perma Flo	Ultradent
	Spectrum	Dentsply
Komposit	Synergy D6	Coltène Whaledent
	Tetric	Vivadent
	Tetric Evo Ceram	Vivadent
	Venus	Heraeus
	Venus Diamond	Heraeus
	Venus Diamond Flow	Heraeus
	Venus Flow	Heraeus
	X Flow	Dentsply
Kompomer	Dyract extra	Dentsply

4.1.2 Adhäsivsysteme

Im Rahmen dieser Studie wurden fünfzehn verschiedene Adhäsivsysteme verwendet. Diese Adhäsive sind analog zu Van Meerbeek et al. (2001) der Gruppe der ´etch and rinse´ und ´self-etch´ Adhäsive zuzuordnen (Tab. 4). Die verwendeten Materialien wurden entsprechend der Herstellerangaben verarbeitet.

Tab. 4: verwendete Adhäsivsysteme

Adhäsivgruppe	Adhäsivsystem	Hersteller
<i>etch and rinse</i>	Optibond FL	Kerr
	Peak Universal Bond Total Etch	Ultradent
	Prime&Bond NT	Dentsply
	Single Syringe Bonding	Ultradent
	Syntac classic	Ivoclar Vivadent
	Teco	DMG
	XP Bond	Dentsply
<i>self-etch</i>	AdheSE	Ivoclar Vivadent
	Beauti Bond	SHOFU
	Bond Force	Tocuyama
	Contax	DMG
	i Bond	Heraeus
	One Coat 7.0	Coltène Whaledent
	Peak Universal Bond Self Etch	Ultradent
	Xeno V ⁺	Dentsply

4.1.3 Ätzmittel und Färbelösung

Zum Ätzen der Zahnhartsubstanz wurden sowohl 37%-ige wässrige Phosphorsäurelösung als auch ein 35%-iges visköses Phosphorsäuregel der Firma Ultradent (Ultra Etch) verwendet.

Die Färbelösung Mira 2 Ton (Hager&Werken 2000) entspricht einer Mischung aus den wasserlöslichen Farbstoffen C.I.42090 und C.I.45410, gereinigtem Wasser und Konservierungsmitteln. In der zahnmedizinischen Praxis wird Mira 2 Ton (Hager&Werken) zum Aufzeigen von Plaque genutzt und hinterlässt eine rosa bis blaue Färbung (Alkilzy und Splieth 2012).

4.2 Methoden zur Visualisierung zahnfarbener Füllungsmaterialien

4.2.1 Probenherstellung

Für die vorliegende Studie wurden 50 extrahierte menschliche Zähne (10 Frontzähne, 8 Prämolaren, 32 Molaren) verwendet, unter denen sich gesunde, kariöse und bereits restaurierte Zähne befanden. Die Zähne waren aus zahnmedizinischer Indikation von niedergelassenen Zahnärzten und Zahnärzten der Universitätszahnklinik Leipzig regelrecht extrahiert worden und waren zur hygienisch und ethisch unbedenklichen Entsorgung vorgesehen. Mit Einwilligung der Patienten und der Zahnärzte wurden die extrahierten Zähne für unsere Studie zur Verfügung gestellt. Von der Untersucherin wurden an den 50 Zähnen insgesamt 99 Kavitäten mittels zahnärztlichem Instrumentarium präpariert und mit zahnfarbenen Füllungsmaterialien versorgt.

Dabei kamen Adhäsivsysteme, sowie Füllungsmaterialien verschiedener Hersteller zum Einsatz. Für die Restaurationen wurden 27 verschiedene Komposite, ein Komomer und ein Glasionomerzement verwendet. Es kamen 14 verschiedene Haftvermittler zur Anwendung. Bestehende Zahnfüllungen und kariöse Läsionen wurden im Rahmen der Kavitätenpräparation entfernt, sodass nur Füllungen bekannter Materialien in die Untersuchung einbezogen wurden. Die Kavitäten wurden an den approximalen (mesial, distal), zervikalen, inzisalen, lingualen, okklusalen, palatinalen, radikulären und vestibulären Flächen der Zähne angebracht. Die Abbildung 5 zeigt die Bezeichnung der jeweiligen Zahnflächen auf.

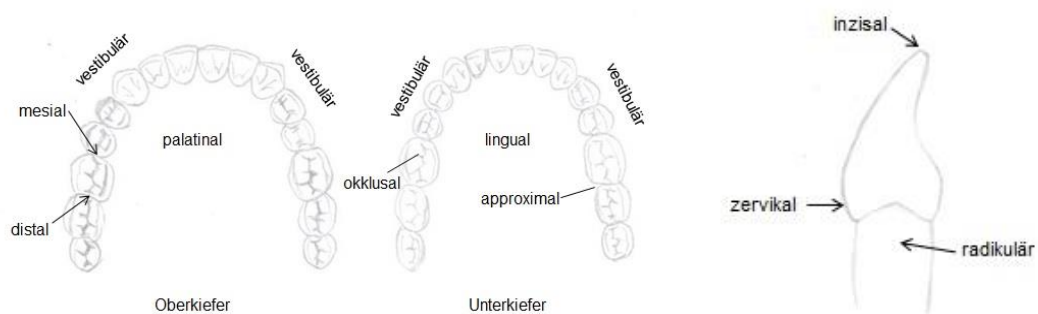


Abb. 5: Schematische Darstellung der Zahnflächen (modifiziert nach Lehmann et al. 2012)

Die einzelnen Schritte (Ausgangssituation, präparierte Kavität und fertig gestellte Füllung) wurden mit einem digitalen Fotoapparat (Canon EOS 500D) festgehalten (Abb. 6). Von dieser Dokumentation ausgenommen sind Zähne eins bis sechs, diese wurden durch Herrn Oberarzt Dr. Fuchß gefertigt und freundlicher Weise zur Verfügung gestellt.

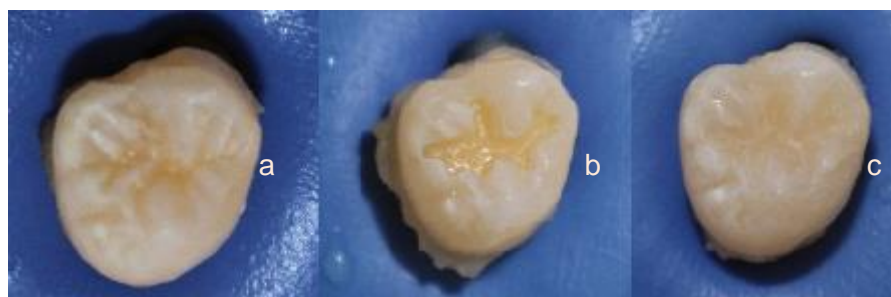


Abb. 6: Fotodokumentation der Arbeitsschritte

Ausgangszustands(a), präparierten Kavität (b) und fertig gestellte Füllung (c)

Es wurde darauf geachtet, entsprechend der zur Verfügung stehenden Farbauswahl, möglichst die passende Zahnfarbe zu wählen.

Für die Dauer der Untersuchungen, d.h. von der Extraktion an bis zur Beendigung der Versuche, wurden die Zähne in einer 0,5-prozentigen Chloramin – Lösung im Kühlschrank aufbewahrt, um die Zähne vor dem Austrocknen zu schützen. Für die Auswertung und Fotodokumentation der Befunde wurden die Zähne jeweils in Sockel aus Silikon positioniert. Alle Zähne wurden mit den nachfolgenden Methoden untersucht und im Anschluss von der Untersucherin beurteilt und die erkannten Füllungen notiert.

4.2.2 UV-Fluoreszenz

Für die Untersuchungen mit ultravioletter Licht wurden alle Zähne im abgedunkelten Raum aus einem Abstand von ca. 20 cm mit einer UV-Lampe (Labino TracFinder H135 35 W, Filter: 310-400nm) angestrahlt. Je nach Zusammensetzung des Materials überwog die Fluoreszenz der Füllung oder die der Zahnhartsubstanz und ermöglichte so eine Unterscheidung. Die Fluoreszenzbilder wurden mittels digitaler Farbfotografie dokumentiert.

Um Unterschiede im Fluoreszenzverhalten verschiedener Füllungsmaterialien zu quantifizieren, wurden anhand der digitalen Fotos der Zähne unter UV-Licht mit der Software Adobe Photoshop CS6 (Adobe Systems GmbH) die Helligkeitswerte (über Funktion „Gradationskurven“) der zahnfarbenen Komposit-, Kompomer- und Glasionomerzementfüllungen und die Helligkeitswerte der Zahnhartsubstanz ermittelt und ein Kontrastindex errechnet: Die Helligkeitswerte der Füllungen wurden durch die Helligkeitswerte der benachbarten Zahnhartsubstanz dividiert und als dimensionslose Mittelwerte für die Gruppen „Komposit, Kompomer, Glasionomerzement“ erfasst (s. Anhang Tab. 13). Die Helligkeitswerte wurden dabei als Maß für die Fluoreszenz der jeweiligen Oberfläche gewertet.

4.2.3 Infrarot-Fotografie

Zur Untersuchung der Probenzähne im Infrarotspektrum des Tageslichts wurden diese mit einer speziell umgerüsteten Digitalkamera des Instituts für Rechtsmedizin fotografiert. Dabei handelt es sich um eine Fotokamera der Marke Canon EOS 30D, bei welcher der werkseitig eingebaute Infrarot- (IR) Filter vor dem Bildsensor entfernt wurde. Verwendet wurden außerdem ein Canon Objektiv Macro 50 mm mit aufgesetztem Infrarot-Filter der Firma Cokin (IR-Filter P007, Cokin).

4.2.4 Röntgen

Alle Zähne wurden mit einem kommerziellen digitalen Zahnrontgengerät des Instituts für Rechtsmedizin untersucht (Gendex Secondent). Der Bildempfänger wurde jeweils an der Oralseite des Zahns und der Röntgentubus jeweils vestibulär positioniert (orthoradialer Strahlengang). In Einzelfällen erfolgte die Röntgenaufnahme senkrecht zum orthoradialen Strahlenverlauf. Für die Röntgenaufnahmen wurden eine werkseitig vorgeschlagene Spannung von 65 kV, eine Stromstärke von 7,5 mA und eine Belichtungszeit von 0,06 Sek verwendet.

Die Untersuchungen erfolgten in einem für Röntgenaufnahmen zugelassenen Raum des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Leipzig unter Aufsicht eines strahlenschutzbevollmächtigten Arztes. Die Untersucher im Kontrollbereich trugen Schutzkleidung gemäß §21 Strahlenschutzverordnung: Bleischürze und Röntgenschutzhandschuh, sowie Fingerdosimeter (Röntgenverordnung vom 11.12.2014). Die nachträgliche Auswertung des Fingerdosimeters ergab keine Überschreitung der zulässigen Strahlendosis während der oben genannten Untersuchungen.

4.2.5 Computertomographie

Für die Aufnahmen wurde der Computertomograph Philips MX 6000 Dual des Instituts für Rechtsmedizin Leipzig verwendet. Dazu wurden alle Zähne auf einer Platte positioniert und dann mit der werkseitigen Einstellung Profil „Schädel Helical 3mm“ aufgenommen. Zusätzlich wurde eine zylinderförmige Probe von jedem Füllungsmaterial angefertigt und im CT gescannt. Die Scans erfolgten mit den Parametern: Collimation 2 x 2,5 mm; Pitch 1,25; Rotationszeit 2 Sek., 120 kV, 200 mAs.

Über die Cursorfunktion des CT-Programms wurden für jeden aufgenommenen Zahn die Höchstwerte der Hounsfield Einheiten für die Zahnhartsubstanz und die zu erkennende(n) Füllung(en) (beide Werte in einer Schnittebene) erfasst. Aus den erfassten Hounsfield-Einheiten wurden Mittelwerte für die Zahnhartsubstanz und die zahnfarbenen Füllungsmaterialien errechnet. Zusätzlich wurden die Aufnahmen mit der Funktion „Surface MIP“ untersucht. Die Funktion ermöglicht das Ausblenden von festgelegten HE-Bereichen.

4.2.6 Schmelzfärbung

Benthaus et al. (1998) beschrieben eine Schmelzfärbemethode zur Darstellung zahnfarbener Füllungen: Nach gründlicher Säuberung des Zahnes wird die Krone für zwei Minuten mit 37 prozentiger Phosphorsäure geätzt. Anschließend erfolgt der Färbeschritt mit blauer Tusche. Der Farbstoff dringt in die durch Ätzen angeraute Oberfläche des Zahns ein, an Komposit- und Bondingoberflächen ist dies nicht möglich.

Im Rahmen dieser Studie wurde durch die Promovendin zunächst, in Räumen des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Leipzig und einer niedergelassenen Praxis, die optimale Durchführung dieser Methode experimentell ermittelt, um möglichst deutliche Färbeergebnisse zu erhalten. Tabelle 5 zeigt das Vorgehen zur Ermittlung der optimalen Färbung; untersucht wurden jeweils 3 Zähne.

Tab. 5: Ermittlung des optimalen Versuchsablaufs für die Schmelzfärbemethode

Ätzen	Färben	Ergebnis
2 min 37%-ige Ätzlösung	Tinte	ungleichmäßige Färbung
5 min 37%-ige Ätzlösung	4 min Hämalaun-Eosin Lösung	Färbung besser als mit Tinte, aber schwach
10 min 37%-ige Ätzlösung	5 min Hämalaun-Eosin Lösung	Färbung kräftiger, aber ungleichmäßig
10min 35%-iges Ätzgel	6 min Tusche	keine Färbung
10min 35%-iges Ätzgel	6 min Mira-2-Ton	Starke, gleichmäßige Färbung des Schmelzes, Füllung deutlich kontrastiert

Das beste Ergebnis wurde nach zehnminütigem Ätzen mit 35%-igem Ätzgel (Ultra Etch der Firma Ultradent), Abspülen unter laufendem Wasser und anschließendem sechsminütigem Färben mit Mira-2-Ton (Hager&Werken) erzielt (Abb. 7).

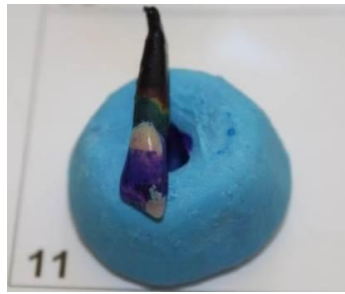


Abb. 7: Probenzahn nach Ätzen und Färben

4.3 Methodenvergleich mittels Fragebogen

Um eine von der Untersucherin unabhängige Beurteilung der Methoden zu erhalten, wurden die Fotos der 50 Zähne in 5 Fragebögen zusammengestellt und je 3 Zahnärzten, Zahnmedizinstudenten und Rechtsmedizinern vorgelegt mit der Aufgabe, identifizierbare Füllungen mit der jeweiligen Lokalisation anzugeben. Um Fehler bei der Lokalisationsangabe zu verhindern, wurden auf den Fotos die Zahnflächen mit den in der Zahnmedizin üblichen Abkürzungen beschriftet (Tab. 6). In den Fragebögen wurde jeder Zahn einmal pro Methode jedem Probanden gezeigt.

Tab. 6: Flächenbezeichnungen der Zähne

Abkürzung	Flächenbezeichnung
a	approximal
c	zervikal
d	distal
i	inzisal
l	lingual
m	mesial
o	okklusal
p	palatinal
r	radikulär
v	vestibulär

Dabei wurden nur die Fotos der UV-Fluoreszenz und der Schmelzfärbemethode sowie die Röntgenbilder von jedem Zahn verwendet (s. Anhang Abb. 21, 23 und 25). Die Methoden Computertomographie und Infrarot-Fotografie wurden nicht mit eingebracht: Ein zweidimensionales Bild wäre zur Bewertung der CT-Aufnahmen ungenü-

gend, die Infrarot-Fotografie zeigte keine auswertbaren Ergebnisse. Als Negativkontrollen wurden Fotos von 10 ungefüllten Zähnen hinzugefügt, welche ebenfalls mit den angegebenen Methoden untersucht wurden (s. Anhang Abb. 22, 24 und 26).

Die schriftlich übermittelten Antworten auf die Fragebögen wurden von der Untersucherin in einer Excel-Tabelle erfasst. Dabei wurden nicht, unvollständig und falsch erkannte Füllungen als „0“ und richtig erkannte Füllungen als „1“ gewertet.

4.3.1 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der Fragebögen wurden für jede Methode sowohl unabhängig von den Berufsgruppen, als auch in Abhängigkeit der Berufsgruppen ausgewertet. Mit Unterstützung von Frau Dr. M. Ziepert erfolgte die statistische Auswertung der erfassten Daten mit dem Statistikprogramm SPSS. Es erfolgte die Berechnung der Mittelwerte, Spezifität und Sensitivität sowie des Agreements der Berufsgruppen innerhalb der Methode und der Methoden unter Berücksichtigung der Berufsgruppen. Aufgrund der Differenzen zwischen den Antworten der Probanden erfolgte die Bildung von Konsensurteilen. Dabei wurde es als Übereinstimmung gewertet, wenn mindestens zwei Beurteiler eine Füllung vollständig erkannt haben. Es ergibt sich demnach ein Konsensurteil von 1, wenn das Agreement von drei Beurteilern 011, 101, 110 oder 111 entspricht.

4.3.1.1 Sensitivität und Spezifität

Für die optimale Untersuchungsmethode ist eine möglichst hohe Sensitivität und Spezifität wünschenswert. Bei der Visualisierung zahnfarbener Füllungen zur Erstellung eines Zahnstatus ist das Ziel alle gelegten Füllungen sicher zu erkennen und davon die ungefüllten Zähne zu unterscheiden. Die Sensitivität gibt an, wie viele von den mit Füllungen versorgten Zähnen als gefüllt erkannt werden. Die Spezifität hingegen gibt an, wie viele von den ungefüllten Zähnen auch wirklich als ungefüllt erkannt werden (Bender und Lange 2001; Tab. 7).

Tab. 7: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität angewendet auf diese Studie

		Methode	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	<i>richtig positiv</i> (RP)	falsch negativ (FN)
	nein (F-)	falsch positiv (FP)	<i>richtig negativ</i> (RN)

Danach berechnet sich die Sensitivität $\text{Sens} = \text{RP} / (\text{RP} + \text{FN})$ und die Spezifität $\text{Spez} = \text{RN} / (\text{RN} + \text{FP})$.

Die Häufigkeiten der richtig („1“) und falsch („0“) erkannten gefüllten und ungefüllten Zähne wurden in Kreuztabellen zusammen getragen und zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität jeder Methode - berufsgruppenunabhängig und berufsgruppenabhängig - genutzt. Dabei wurde jeweils die Häufigkeit der Antwort „1“ bzw. „0“ gezählt und durch die Anzahl der Probanden dividiert. Zur Berechnung der Sensitivität wurden die Angaben zu allen Füllungen pro Zahn zu einem Wert zusammengefasst (Daten s. Anhang Tab. 17). Somit ergibt sich pro Zahn nur ein Wert, auch wenn dieser mit mehreren Füllungen versehen ist.

5. Ergebnisse

5.1 Überblick

1.) Um die am besten geeignete Methode zur Darstellung zahnfarbener Füllungen herauszufinden, wurden 50 menschliche Zähne mit zahnfarbenen Füllungen versorgt und von der Untersucherin mittels UV-Fluoreszenz, digitaler IR-Fotografie, digitalem Röntgen, CT und einer Schmelzfärbemethode bezüglich der Erkennbarkeit der Füllungen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tab. 8: Übersicht der Ergebnisse der Untersucherin

	Anzahl der untersuchten Füllungen	Anzahl richtig erkannter Füllungen	Anteil richtig erkannter Füllungen
UV-Fluoreszenz	99	96	97%
IR-Fotografie	99	0	0%
Röntgen	99	79	80%
CT	99	53	54%
Schmelzfärbung	99	99	100%

Die meisten Füllungen konnten mit der optimierten Schmelzfärbemethode und mittels UV-Fluoreszenz erkannt werden. Die wenigstens Füllungen wurden mittels Computertomographie identifiziert. Die IR-Fotografie erwies sich als ungeeignet zur Darstellung von Kompositfüllungen.

2.) Für die objektive Beurteilung der einzelnen Methoden wurden Fragebögen mit Fotos der Zahnfüllungen an Vertreter der drei Probandengruppen „Zahnärzte“, „Zahnmedizinstudenten“ und „Rechtsmediziner“ gesendet. Bei der Auswertung der Fragebögen ergab sich, dass die meisten Füllungen mittels Schmelzfärbung erkannt werden konnten. Die wenigsten Füllungen wurden mittels digitalen Röntgen erkannt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tab. 9: Übersicht der Ergebnisse der Fragebögen

	Anzahl der untersuchten Füllungen	Anzahl richtig erkannter Füllungen	Anteil richtig erkannter Füllungen
UV-Fluoreszenz	9x99	618	69%
Röntgen	9x99	523	59%
Schmelzfärbung	9x99	794	89%

3.) Anschließend wurde jede Methode in Abhängigkeit der Probandengruppe untersucht, um einen Vergleich der Gruppen zu ermöglichen. Die Mittelwerte zeigen, dass mit den Methoden UV-Fluoreszenz und Röntgen die meisten Füllungen durch Zahnärzte (Z) erkannt wurden, darauf folgen die Zahnmedizinstudenten (S) und die Rechtsmediziner (R) ($Z > S > R$). Bei der Schmelzfärbemethode ergaben sich keine gruppenspezifischen Unterschiede ($Z = S = R$); diese Methode kann von allen Berufsgruppen gleichermaßen gut angewendet werden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tab. 10: Übersicht der Probandengruppen-abhängigen Ergebnisse der Fragebögen

	Anzahl untersuchter Füllungen	Anzahl(Anteil) richtig erkannter Füllungen		
		Zahnärzte	Zahnmedizinstudenten	Rechtsmediziner
UV-Fluoreszenz	3x99	243 (82%)	207 (69%)	168 (57%)
Röntgen	3x99	201 (68%)	176 (59%)	146 (49%)
Schmelzfärbung	3x99	266 (90%)	262 (88%)	266 (90%)

4) Zur Beurteilung der Verlässlichkeit einer Methode erfolgte probandengruppenunabhängig und –abhängig die Berechnung der Sensitivität und Spezifität. Bei Betrachtung der einzelnen Methoden zeigt die Schmelzfärbemethode die höchsten Werte der Sensitivität (0,76) und Spezifität (0,75). Die UV-Fluoreszenz weist eine Sensitivität von 0,54 und eine Spezifität von 0,55 auf. Die geringste Zuverlässigkeit erweist die Methodik Röntgen mit einer Sensitivität von 0,42 und einer Spezifität von 0,5.

Betrachtet man die einzelnen Methoden und die Berufsgruppen, sind Unterschiede in der Zuverlässigkeit der Beurteilung durch die jeweiligen Gruppen zu erkennen. Für die Methode UV-Fluoreszenz zeigen die Zahnärzte mit einer Sensitivität von 0,68 und einer Spezifität von 0,65 die besten Ergebnisse. Bei der Röntgendiagnostik weisen die Zahnärzte (Sens=0,52; Spez=0,45) und die Zahnmedizinstudenten (Sens=0,44; Spez=0,8) mittelmäßige Ergebnisse auf, wobei die Zahnmedizinstudenten bei der Erkennung ungefüllter Zähne gut sind. Für die Schmelzfärbemethode haben alle drei Berufsgruppen hohe Werte für die Sensitivität und Spezifität, wobei die Zahnmedizinstudenten mit einer Sensitivität von 0,78 und einer Spezifität von 0,9 die besten Werte erzielten.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 und 12 zusammengefasst.

Tab. 11: Sensitivität und Spezifität der einzelnen Methoden anhand der Ergebnisse der Fragebögen

	Anzahl der untersuchten gefüllten Zähne	Mittelwert richtig positiv erkannter Zähne	Anzahl der untersuchten ungefüllten Zähne	Mittelwert richtig negativ erkannter Zähne	Sensitivität	Spezifität
UV-Fluoreszenz	9x50	27	9x20	11	0,54	0,55
Röntgen	9x50	21	9x20	10	0,42	0,5
Schmelzfärbung	9x50	38	9x20	15	0,76	0,75

Tab. 12: Sensitivität und Spezifität der einzelnen Methoden in Abhängigkeit der Probandengruppe

Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner

	Mittelwert der richtig positiv erkannten Zähne			Mittelwert der richtig negativ erkannten Zähne			Sensitivität			Spezifität		
	Z	S	R	Z	S	R	Z	S	R	Z	S	R
UV-Fluoreszenz	34	27	19	13	16	14	0,68	0,54	0,38	0,65	0,8	0,7
Röntgen	26	22	15	9	16	11	0,52	0,44	0,3	0,45	0,8	0,55
Schmelzfärbung	36	39	39	17	18	16	0,54	0,78	0,78	0,85	0,9	0,8

5.2 Methodenabhängige Ergebnisse

Um zu untersuchen, welche Methoden sich zur Visualisierung zahnfarbener Füllungsmaterialien eignen, wurden die Fotos der Methoden UV-Fluoreszenz, Infrarot-Fotografie und Schmelzfärbung, sowie die Röntgenbilder und CT-Aufnahmen von der Promovendin betrachtet und die erkannten Füllungen notiert. Bei der Schmelzfärbemethode und UV-Fluoreszenz war zusätzlich die direkte Betrachtung der gefärbten Zähne möglich.

Dabei wurden 97% der Füllungen mit UV-Fluoreszenz erkannt. Mit der Methode des digitalen Röntgens konnten 80% der Füllungen erkannt werden und mit der Computertomographie 53,5%. Mittels Infrarot-Fotografie konnten keine Füllungen dargestellt werden, wohingegen mit der Schmelzfärbemethode 100% der Füllungen visualisiert werden konnten (Abb. 8).

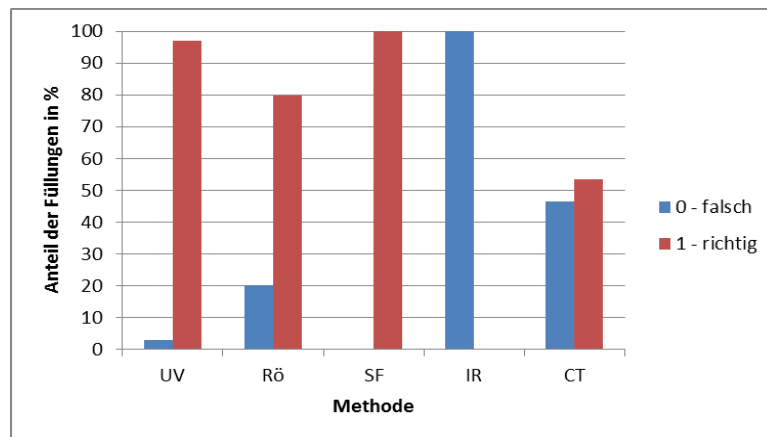


Abb. 8: Mittelwerte von „0“ und „1“ für die Methoden

Anteil erkannter Füllungen bei Anwendung der Methoden UV-Fluoreszenz, Röntgen, Schmelzfärbung, IR-Fotografie, Computertomographie

5.2.1 UV-Fluoreszenz

Mittels UV-Fluoreszenz konnten mit 97% fast alle Füllungen dargestellt werden

Die Methode der UV-Fluoreszenz stellt demnach eine sehr zuverlässige Möglichkeit dar, die zahnfarbenen Füllungen aufzuzeigen.

5.2.1.1 Untersuchung der Fluoreszenz in Abhängigkeit der Materialgruppe

Um das Fluoreszenzverhalten der verschiedenen Füllungsmaterialien zu quantifizieren, wurde für jede Materialgruppe ein Kontrastindex ermittelt. Die Untersuchung der Fluoreszenzintensitäten ergibt für die Komposite einen Kontrastindex von 1,15, für die Gruppe Kompomer ein Kontrastindex von 1,37 und für den Glasionomerzement ein Kontrastindex von 0,67 (Abb. 9, s. Anhang Tab. 13). Komposite und Kompomer fluoreszieren demnach stärker als die Zahnhartsubstanz, wohingegen der Glasionomerzement eine geringere Fluoreszenz als der Zahn aufweist und daher dunkel erscheint.

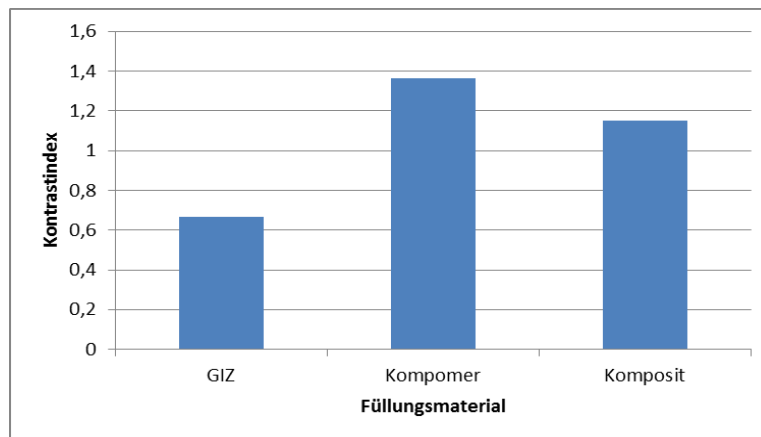


Abb. 9: Helligkeitsintensitäten der Füllungsmaterialien

Mittelwerte der Helligkeitsintensitäten des Glasionomerzements ($I(\text{GIZ})/I(\text{ZHS})$), des Kompomers ($I(\text{Kompomer})/I(\text{ZHS})$) und der Komposite ($I(\text{Komposit})/I(\text{ZHS})$) im Verhältnis zur Zahnhartsubstanz (ZHS), jeweils unter UV-Licht

Alle untersuchten Füllungsmaterialien weisen eine andere Fluoreszenzintensität als der Zahn auf, daher ist eine Differenzierung zwischen zahnfarbenen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz mittels UV-Fluoreszenz unabhängig vom Füllungsmaterial möglich.

5.2.2 Infrarot-Fotografie

Bei den Aufnahmen mit digitaler Infrarot-Fotografie zeigte sich, dass diese Methode nicht zur Visualisierung zahnfarbener Füllungsmaterialien geeignet ist. Es war bei keinem Zahn ein Unterschied zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit erkennbar (Abb. 10).

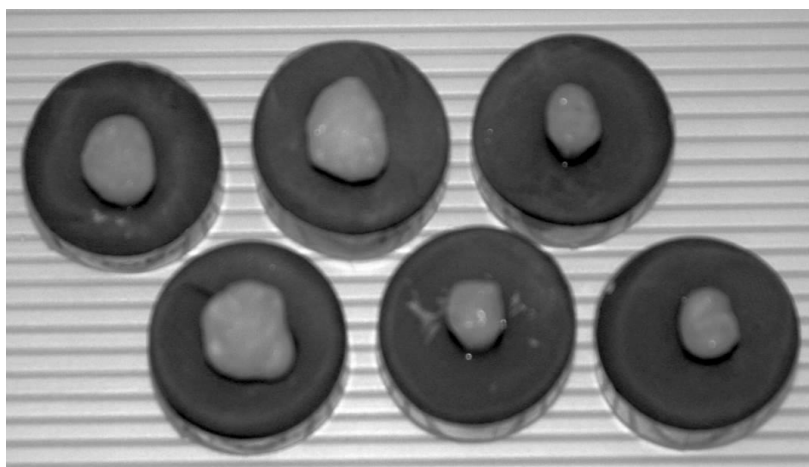


Abb. 10: Digitale IR-Foto von Zähnen mit Füllungen

5.2.3 Röntgen

Mittels digitalem Röntgen konnte mit 80% ein Großteil der Füllungen dargestellt werden. Dabei gestaltet sich besonders die Erkennung okklusal gelegener Füllungen im Seitenzahnbereich schwierig, da diese durch Überlagerungen im Schmelzbereich teilweise nicht eindeutig erkennbar waren. Problematisch war dabei ebenfalls das Falscherkennen von nicht vorhandenen okklusalen Füllungen aufgrund der im Schmelz gelegenen Überlagerungen („falsch positiv“ erkannte Füllungen). Des Weiteren war die Lokalisation von vestibulär bzw. oral gelegenen Füllungen mittels ortho-radial (Strahlengang von vestibulär nach oral) angefertigten Röntgenbildern problematisch.

5.2.4 Computertomographie

Mittels Computertomographie konnten mit 53,5% etwa die Hälfte der Füllungen nachgewiesen werden. Bei dieser Methode ist es wichtig, die genaue Position des Zahns zu dokumentieren, um die Zahnflächen in dem Computertomogramm (auch CT) reproduzieren zu können.

Mit der Cursorfunktion wurde mittelwertig für die Zahnhartsubstanz ein Wert von 1275 HE (Minimum: 436 HE, Maximum: 2246 HE) und für die zahnfarbene Füllung 2640 HE (Minimum: 1663 HE, Maximum: 3071 HE) ermittelt (s. Anhang Tab. 14). Die Dichtebestimmung der zylinderförmigen Materialproben im CT ergab für alle Füllungsmaterialien einen Höchstwert von 3071 HE.

Über die Funktion „Surface MIP“ wurden alle Bereiche <2300 HE und <3071HE ausgeblendet und untersucht. Es waren sowohl Füllungsbereiche als auch Zahnhartsubstanzbereiche noch sichtbar.

Die Computertomographie erwies sich für die Erkennung zahnfarbener Füllungen als zu ungenau.

5.2.5 Schmelzfärbemethode

In der Voruntersuchung wurde die Schmelzfärbemethode optimiert. Nach zehnminütigem Ätzen mit 35 %-igen Ätzgel (Ultra Etch, Firma Ultradent) und anschließend sechsminütigen Färben mit der Plaque-Färbelösung Mira-2-Ton (Hager&Werken)

konnten deutliche Ergebnisse erzielt werden. Mit der optimierten Schmelzfärbemethode konnten alle Füllungen dargestellt werden.

5.3 Ergebnisse der Fragebögen

5.3.1 Ergebnisse der Untersuchung der einzelnen zahnfarbenen Füllungen

Um objektiv zu beurteilen, inwieweit sich die Methoden UV-Fluoreszenz, Röntgen und Schmelzfärbung zur Visualisierung zahnfarbener Füllungen eignen, wurden die Ergebnisse der Fragebögen probandengruppenunabhängig und –abhängig betrachtet. Tabelle 15 (s. Anhang) enthält die Daten für die folgenden Berechnungen.

5.3.1.1 Methodenabhängige Auswertung der Ergebnisse des Fragebogens

Mittels UV-Fluoreszenz wurden 69% der zahnfarbenen Füllungen erkannt, im digitalen Röntgen konnten 59% der Füllungen diagnostiziert werden. Die Schmelzfärbemethode ermöglichte das Erkennen von 89% der gelegten Füllungen (Abb. 11).

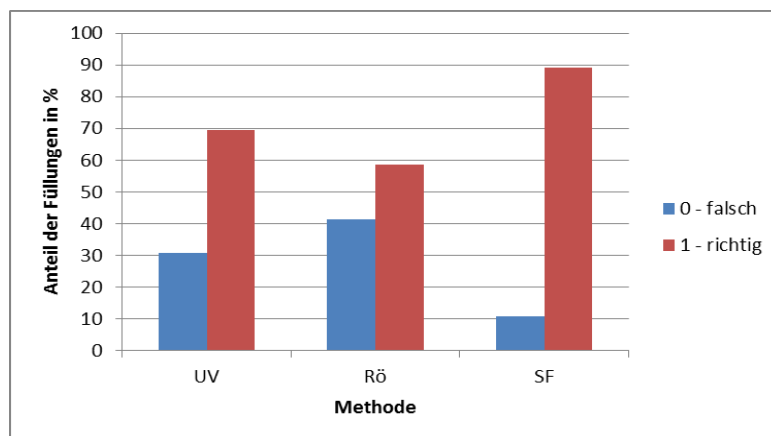


Abb. 11: Betrachtung der Methoden – probandengruppenunabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0“ und „1“ für alle Probandengruppen für die Methoden UV-Fluoreszenz (UV), Röntgen (Rö) und Schmelzfärbung (SF)

Die Berechnung des Konsensurteils des Agreements (hier als Konsensurteil) zeigt, dass die Betrachter in 52% in der Erkennung der Füllungen mit UV-Fluoreszenz übereinstimmen (d.h. mindestens 2 Betrachter erkannten die Füllung). Das Konsensurteil für erkannte Füllungen im Röntgenbild beträgt 40% und mit Schmelzfärbemethode 80%. Mit der Schmelzfärbemethode konnten die meisten Füllungen erkannt werden.

5.3.1.2 Berufsgruppenabhängige Auswertung der einzelnen Methoden

5.3.1.2.1 UV-Fluoreszenz

Die Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse der Füllungsdiagnose in Abhängigkeit der Probandengruppe für die Methode UV-Fluoreszenz. Die Zahnärzte konnten 82%, die Zahnmedizinstudenten 70% und die Rechtsmediziner 56% der Füllungen richtig erkennen.

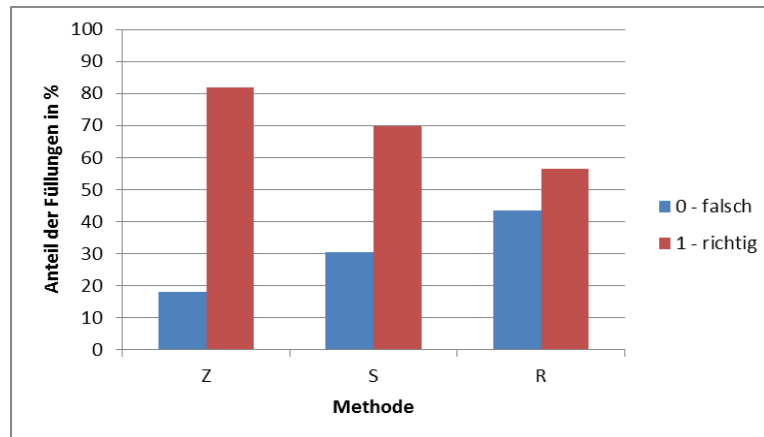


Abb. 12: Betrachtung der Methode UV – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0“ und „1“ für die Methode UV abhängig von der Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner), nach Füllungen

Die Berechnung der Konsensurteile zeigt, dass die Zahnärzte in 85,9% der Fälle mit der Erkennung der Füllungen übereinstimmen, die Zahnmedizinstudenten stimmen zu 72,7% mit der Erkennung überein und die Rechtsmediziner zu 52,5%. Die Zahnärzte konnten mit der UV-Fluoreszenz die meisten zahnfarbenen Füllungen erkennen.

5.3.1.2.2 Röntgen

Im digitalen Röntgenbild wurden 68% der Füllungen von den Zahnärzten erkannt. Zahnmedizinstudenten erkannten 59% und die Rechtsmediziner 49% der gelegten zahnfarbenen Füllungen (Abb. 13).

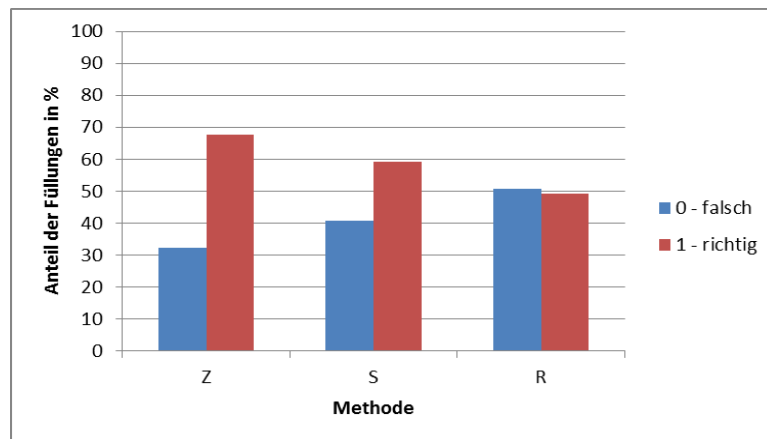


Abb. 13: Betrachtung der Methode Röntgen – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0“ und „1“ für die Methode Röntgen abhängig von der Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner), nach Füllungen

Unter Verwendung des Konsensurteils stimmen die Zahnärzte in 68% bei der Erkennung der Füllungen im Röntgenbild überein. Die Zahnmedizinstudenten stimmen bei der Erkennung zu 58,6% überein, bei den Rechtsmedizinern stimmen die Betrachter bei der Erkennung zu 46,5% überein. Die Zahnärzte konnten in den digitalen Röntgenbildern die meisten Füllungen erkennen.

5.3.1.2.3 Schmelzfärbemethode

Die Schmelzfärbemethode ermöglichte bei allen Probandengruppen die Erkennung von 88-90% der Füllungen (Abb. 14).

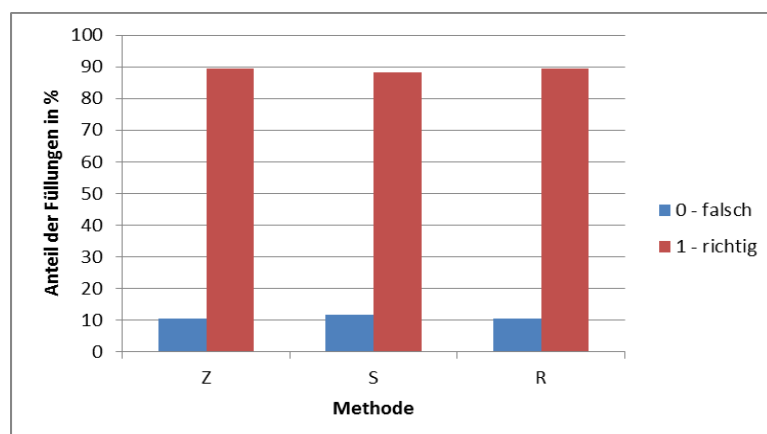


Abb. 14: Betrachtung der Schmelzfärbemethode – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0“ und „1“ für die Schmelzfärbemethode abhängig von Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner), nach Füllungen

Nach Berechnung der Konsensurteile stimmen die Zahnärzte in 92,9% mit der Erkennung der Füllungen überein, die Zahnmedizinstudenten stimmen bei der Erkennung zu 88,9% überein und die Rechtsmediziner zu 91,9%.

5.3.2 Betrachtung der ungefüllten Zähne

Zur Ermittlung der intraindividuellen Übereinstimmung der einzelnen Ergebnisse wurden die Antworten zu den Negativkontrollen (ungefüllte Zähne) ausgewertet (Daten s. Anhang Tab. 16). Es waren folgende Antwortkombinationen möglich: „0-0“ (im Folgenden als 0 angegeben); „1-1“ (im Folgenden als 1 angegeben); „0-1/1-0“. Das Ergebnis „1“ entspricht auch hier „richtig erkannt“ – der Betrachter erkannte demnach den Zahn als ungefüllt.

5.3.2.1 Methodenabhängige Auswertung der ungefüllten Zähne

Von den ungefüllten Zähnen konnten mit UV-Fluoreszenz 58% als solche erkannt werden, im Röntgenbild wurden 48% richtig erkannt und mit der Schmelzfärbemethode 76%. Mittels UV-Fluoreszenz wurden 14% der Zähne falsch erkannt, d.h. es wurde eine Füllung am Zahn diagnostiziert, obwohl keine vorhanden war. Im Röntgenbild erfolgte dies zu 29% und nach Schmelzfärbung zu 8%. Es bestand eine Diskrepanz zwischen der ersten und zweiten Beurteilung der ungefüllten Zähne durch die Probanden. Die Diskrepanz liegt bei 28% der Zähne bei UV-Fluoreszenz, 23% in den Röntgenaufnahmen und 17% bei der Schmelzfärbung (Abb. 15).

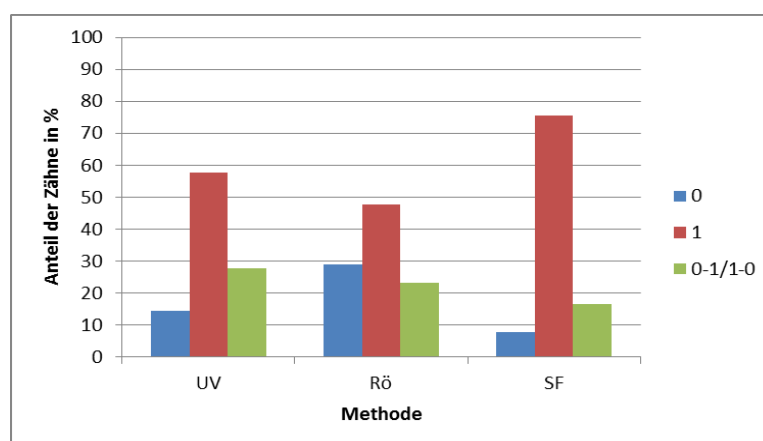


Abb. 15: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methoden – probandengruppenunabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0-0“ (hier 0), „1-1“ (hier 1) und „0-1/1-0“ für alle Probandengruppen (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner) für die Methoden UV-Fluoreszenz (UV), Röntgen (Rö) und Schmelzfärbung (SF)

5.3.2.2 Probandengruppenabhängige Auswertung der einzelnen Methoden für die ungefüllten Zähne

5.3.2.2.1 UV-Fluoreszenz

Mittels UV-Fluoreszenz erkannten 47% der Zahnärzte die ungefüllten Zähne richtig, die Zahnmedizinstudenten erkannten 67% und die Rechtsmediziner erkannten 60%. Von den Zahnärzten wurden 17% falsch erkannt, bei den Zahnmedizinstudenten wurden 7% und bei den Rechtsmediziniern 20% falsch erkannt. In 37% bestand eine Diskrepanz zwischen beiden Beurteilungen bei den Zahnärzten, bei den Zahnmedizinstudenten bestand die Diskrepanz zu 27% und bei den Rechtsmediziniern zu 20% (Abb. 16).

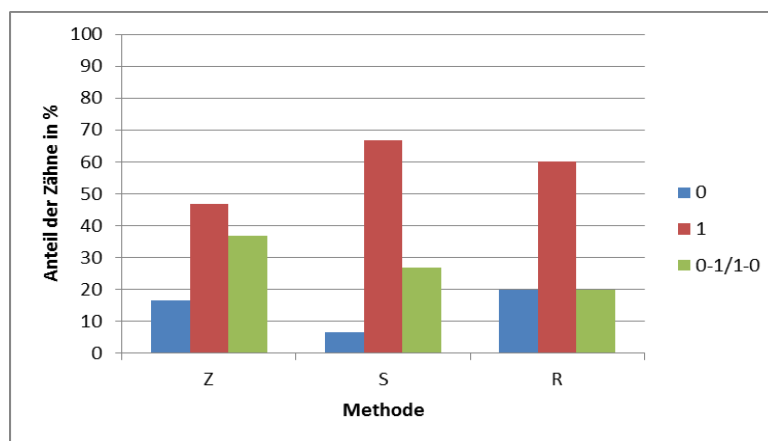


Abb. 16: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methode UV – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0-0“ (hier 0), „1-1“ (hier 1) und „0-1/1-0“ für die Methode UV in Abhängigkeit der Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner)

5.3.2.2.2 Röntgen

Im Röntgenbild wurden 37% der Zähne durch die Zahnärzte als ungefüllt erkannt, unter den Zahnmedizinstudenten wurden 73% und bei den Rechtsmediziniern 33% richtig erkannt. Die Zahnärzte erkannten 47% der Zähne nicht, bei den Zahnmedizinstudenten wurden 17% und bei den Rechtsmediziniern 23% der Zähne falsch erkannt. Eine Diskrepanz zwischen beiden Beurteilungen besteht bei den Zahnärzten zu 17%, bei den Zahnmedizinstudenten zu 10% und bei den Rechtsmediziniern zu 43% (Abb. 17).

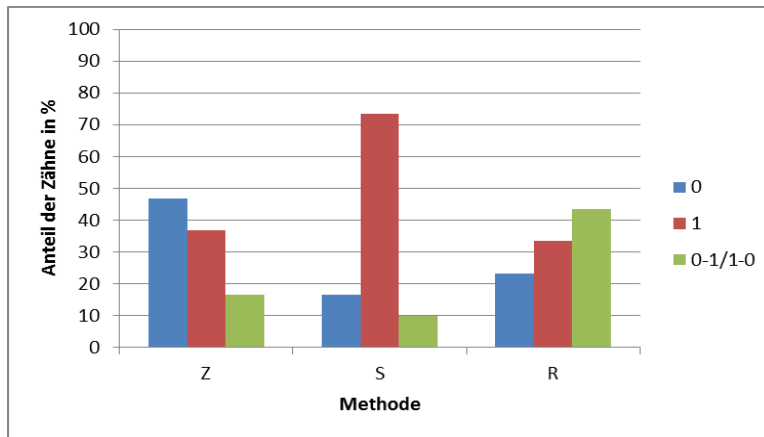


Abb. 17: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methode Röntgen – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0-0“ (hier 0), „1-1“ (hier 1) und „0-1/1-0“ für die Methode Röntgen in Abhängigkeit der Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner)

5.3.2.2.3 Schmelzfärbemethode

Mit der Schmelzfärbemethode wurden von den ungefüllten Zähnen 73% bei den Zahnärzten, 80% bei den Zahnmedizinstudenten und 73% bei den Rechtsmedizinern richtig erkannt. Die Zahnärzte und Zahnmedizinstudenten erkannten 3% der Zähne nicht richtig, in der Gruppe der Rechtsmediziner waren es 16%. Die Zahnärzte zeigten zu 23% eine Diskrepanz zwischen erster und zweiter Beurteilung, bei den Zahnmedizinstudenten liegt die Diskrepanz bei 17% und bei den Rechtsmedizinern bei 10% (Abb. 18).

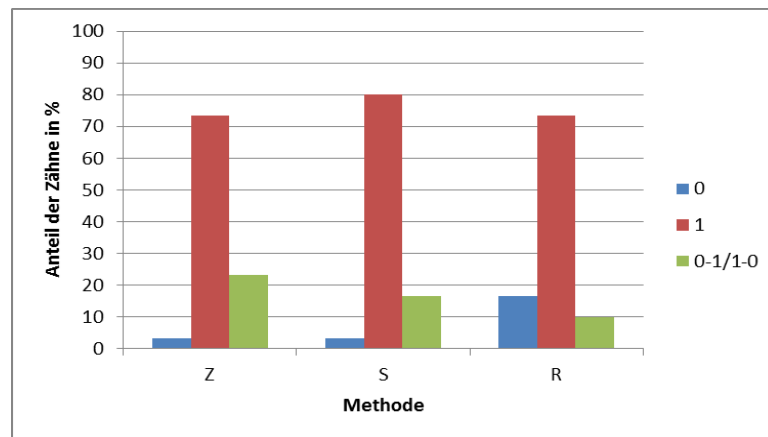


Abb. 18: : ungefüllte Zähne: Betrachtung der Schmelzfärbemethode – probandengruppenabhängig

Mittelwerte der Ergebnisse „0-0“ (hier 0), „1-1“ (hier 1) und „0-1/1-0“ für die Schmelzfärbemethode in Abhängigkeit der Probandengruppe (Z-Zahnärzte, S-Zahnmedizinstudenten, R-Rechtsmediziner)

5.3.3 Sensitivität und Spezifität

5.3.3.1 Sensitivität und Spezifität der Methoden

Um eine Aussage über die Zuverlässigkeit einer Methode treffen zu können, wurden die Sensitivität und Spezifität probandengruppenunabhängig berechnet.

Die Methode UV-Fluoreszenz hat eine Sensitivität von 54% und eine Spezifität von 55%. Mit dem Röntgen konnte eine Sensitivität von 42% und eine Spezifität von 50% erreicht werden. Die Schmelzfärbung ist mit einer Sensitivität von 76% und einer Spezifität von 75% die zuverlässigste Methode (s. Anhang Tab. 18, 19 und 20).

5.3.3.2 Sensitivität und Spezifität der Methoden in Abhängigkeit der Probandengruppen

Um eine Aussage über die Zuverlässigkeit einer Methode im Zusammenhang mit der Eignung einer Probandengruppe zu treffen, wurden die Sensitivität und Spezifität auch probandengruppenabhängig für jede Methode berechnet.

Die UV-Fluoreszenz hat eine Sensitivität von 68% und eine Spezifität von 65% in der Gruppe Zahnärzte, eine Sensitivität von 54% und Spezifität von 80% in der Gruppe Zahnmedizinstudenten und eine Sensitivität von 38% und Spezifität von 70% in der Gruppe Rechtsmediziner. Für die Röntgendiagnostik ergeben sich eine Sensitivität

von 54% und eine Spez von 45% für die Zahnärzte, eine Sensitivität von 44% und eine Spezifität von 80% für die Zahnmedizinstudenten und eine Sensitivität von 30% und eine Spezifität von 55% für die Rechtsmediziner. Für die Schmelzfärbemethode errechnet sich eine Sensitivität von 72% und Spezifität von 85% in der Gruppe Zahnärzte, eine Sensitivität von 78% und Spezifität von 90% für die Zahnmedizinstudent und eine Sensitivität von 78% und Spezifität von 80% in der Gruppe der Rechtsmediziner (s. Anhang Tab. 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29). Bei der Durchführung der Methoden UV-Fluoreszenz und Röntgen zeigen demnach die Zahnärzte die größte Zuverlässigkeit, wobei die Zahnmedizinstudenten eine höhere Spezifität als die Zahnärzte bei der Röntgendiagnostik aufweisen. Die Schmelzfärbung hingegen ist probandengruppenunabhängig zuverlässig durchführbar, wobei die Gruppe der Zahnmedizinstudenten die zuverlässigsten Ergebnisse lieferte.

6. Diskussion

6.1 Aufbau der Untersuchung

6.1.1 Materialauswahl

Da üblicherweise Komposite, Glasionomerezemente und Kompomere als direkte zahnfarbener Füllungsmaterialien in der zahnärztlichen Praxis zum Einsatz kommen, wurden Vertreter dieser Materialgruppen für die Probenherstellung im Rahmen dieser Studie genutzt. Überwiegend erfolgen direkte zahnfarbene Restaurationen mit Kompositen (Frankenberger und Blunck 2012), daher wurden bei der Untersuchung Materialien von 13 verschiedenen Herstellern genutzt. Wie in 2.2.1 dargestellt, haben die zahnärztlich verwendeten Komposite eine ähnliche Grundzusammensetzung, variieren jedoch in ihrer konkreten Struktur von Hersteller zu Hersteller.

In dieser Studie liegt das Augenmerk auf der optischen Differenzierung zwischen Zahnhartsubstanz und zahnfarbenen Füllungsmaterial. Die Differenzierung zwischen den einzelnen Materialien ist nicht angestrebt, sondern generell zahnfarbene Füllungsmaterialien sicher vom Zahn zu unterscheiden. Daher erfolgt bei der Auswertung keine Unterscheidung anhand der untersuchten Materialgruppen.

Um auch ein weites Spektrum an Adhäsivsystemen abzudecken, wurden Materialien von 9 verschiedenen Herstellern verwendet. Da optisch keine Unterschiede im Bereich des Randbereiches zwischen Füllung und Zahnhartsubstanz festgestellt werden konnten, wurden die Adhäsivsysteme bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

6.1.2 Füllungslokalisierung und Füllungszahl

Um eine praxisähnliche Situation zu schaffen, wurden insgesamt 50 Zähne mit Füllungen unterschiedlicher Anzahl und verschiedener Positionen versehen. Dies ermöglicht auch von rechtsmedizinischer Seite eine realitätsnähere Betrachtung der Fragestellung.

Die Auswertung der Ergebnisse des Fragebodens und die eigenen Erfahrungen der Untersucherin zeigen, dass die Schmelzfärbung und die UV-Fluoreszenz für alle Füllungslokalisationen geeignet sind, vorausgesetzt ein Zahn ist von allen Flächen zu betrachten. Da es im Röntgenbild im okklusalen Schmelzbereich zu Überlagerungen kommt, sind die okklusal gelegenen zahnfarbenen Füllungen bis ins Dentin besser

erkennbar, als nur im Zahnschmelz gelegene Kavitäten. Im Approximalraum gelegene Füllungen sind röntgenologisch gut erkennbar, die Flächenbezeichnung von vestibulär oder oral gelegenen Füllungen hingegen ist schwierig (s. 6.2.3).

6.1.3 Der Fragebogen

6.1.3.1 Probandengruppen

Um die Methoden objektiv zu beurteilen und zusätzlich eine Aussage treffen zu können, welches Berufsfeld am besten für die Durchführung der einzelnen Methoden geeignet ist, wurden die Fragebögen an Vertreter der Probandengruppe Zahnarzt, Zahnmedizinstudent und Rechtsmediziner gesendet. Die Auswertung der Antworten zeigt, dass besonders bei der UV-Fluoreszenz und auch beim Röntgen die Erfahrung des Untersuchers einen Einfluss auf das Erkennen der Füllungen hat. Bei beiden Methoden erkannten die Zahnärzte die meisten Füllungen (UV-Fluoreszenz: 82%; Röntgen: 68%), darauf folgend die Zahnmedizinstudenten und dann die Rechtsmediziner. Die Schmelzfärbung ermöglichte probandengruppenunabhängig mit rund 90% ein sicheres Erkennen der Füllungen. Aus der Berechnung der Mittelwerte und der Konsensurteile lässt sich daher ableiten, dass die Zahnärzte am besten für die Beurteilung zahnfarbener Füllungen mittels UV-Fluoreszenz und Röntgen geeignet ist. Die Schmelzfärbemethode ist hingegen von allen drei probandengruppen durchführbar.

6.1.3.2 Beurteilung der einzelnen Füllungen und jedes Zahns

Zur Auswertung der Ergebnisse der Fragebögen wurde jede Füllung für sich bewertet, um die Füllungsmaterialien auf ihre Sichtbarkeit hin zu untersuchen (siehe 5.2.1). Die Spezifität errechnet sich aus den richtig erkannten und nicht erkannten ungefüllten Zähnen. Um analog dazu die Sensitivität bestimmen zu können, wurde jeder gefüllte Zahn insgesamt betrachtet. Dabei wurde ein Zahn nur als vollständig erkannt gewertet, wenn alle gelegten Füllungen identifiziert wurden.

6.1.3.3 Auswertung der Fragebögen

Die von den Beurteilern angegebenen Füllungslokalisationen wurden mit den tatsächlich gelegten Füllungen verglichen und in „0“ und „1“ umcodiert. Als eine Fehlerquelle ist hierbei die unterschiedliche Bezeichnung von Füllungsausdehnungen zu verzeichnen, da auch im klinischen Alltag die Füllungen von einzelnen Behandlern

unterschiedlich bezeichnet und dokumentiert werden. Zur Berechnung der Sensitivität wurde jeder Zahn für sich bewertet, d.h. nur wenn alle Füllungen eines Zahns erkannt wurden, wurde er als „1“ gewertet. Somit werden auch zusätzlich erkannte Füllungen, welche in der Betrachtung der einzelnen Füllungen nicht erfasst werden, in den Berechnungen berücksichtigt.

6.2 Diskussion der Methoden

UV-Fluoreszenz

Die Anpassung des Fluoreszenzverhaltens der Füllungsmaterialien an die der Zahnhartsubstanz spielt aus ästhetischen Gründen eine wichtige Rolle im zahnärztlichen Alltag. Diese Eigenschaft soll sich jedoch auch in der rechtsmedizinischen Praxis zu Nutze gemacht werden. Daher wurden die Füllungen mittels UV-Fluoreszenz untersucht und das unterschiedliche Fluoreszenzverhalten der Materialien beurteilt.

Mittels UV-Fluoreszenz konnten von der Untersucherin 97% der Füllungen erkannt werden. Von den Probanden (Zahnärzte, Zahnmedizinstudenten, Rechtsmediziner) wurden etwa 70% der Füllungen mit UV-Fluoreszenz richtig erkannt. Die Diskrepanz zwischen der Wertung durch die Promovendin und der Beurteilung durch die Probanden zeigt, dass die Füllungen mit UV-Fluoreszenz durch Übung besser erkennbar werden. Die Betrachtung der Zähne mit der Methode UV-Fluoreszenz in einem zweidimensionalen Foto (wie im Fragebogen) erweist sich als nachteilig und führte zu schlechteren Ergebnissen bei der Beurteilung der einzelnen Füllungen. Bei direkter dreidimensionaler Betrachtung der mit UV-Licht beleuchteten Zähne sind daher auch bei objektiven Personen bessere Ergebnisse zu erwarten.

Die Ermittlung des Kontrastindex zeigt, dass die zahnfarbenen Füllungsmaterialien schwächer (Kontrastindex Glasionomerzement = 0,67) oder stärker (Kontrastindex Komposit = 1,15, Kompomer = 1,37) als die Zahnhartsubstanz fluoreszieren können. Diese Ergebnisse sind mit denen von Clark und Ruddick (1985) vergleichbar, welche 27 mit Kompositfüllungen versehene Zähne mit UV-Licht ($\lambda=365\text{nm}$) untersuchten und die Füllungen aufgrund einer ausbleibenden Fluoreszenz bzw. Fluoreszenz im anderen Wellenlängenbereich oder einer anderen Fluoreszenzintensität vom Zahnschmelz unterscheiden konnten. Bei 12 % der Kompositfüllungen in dieser Studie ergab der Kontrastindex jedoch einen Wert von $1 \pm 0,05$. In diesen Fällen ist die zahnfarbene Füllung nicht sicher von der Zahnhartsubstanz zu unterscheiden und

die UV-Fluoreszenz als alleinige Diagnosemethode nicht ausreichend. Auch Hermanson et al. (2008) erkannten in ihren Fluoreszenzuntersuchungen ($\lambda=365\text{nm}$ und 380nm), dass neben stärker und schwächer fluoreszierenden Kompositen auch Komposite vorhanden sind, deren Fluoreszenzintensität derjenigen der Zahnhartsubstanz ähnelt. Diese Materialien erfüllen die optischen Ansprüche der Gesellschaft, d.h. die Zusammensetzung der Füllungsmaterialien wurde so optimiert, dass diese von der natürlichen Zahnhartsubstanz nicht zu unterscheiden sind, die rechtsmedizinische Arbeit der Identifizierung mittels Erhebung eines Zahnstatus wird dadurch aber zusätzlich erschwert.

Des Weiteren beschrieben Hermanson et al. (2008), dass die Komposite material-spezifische Fluoreszenzmaxima bei unterschiedlichen Wellenlängen aufweisen. Bush et al. (2010) beschrieben für die Fluoreszenz von Kompositen einen optimalen Wellenlängenbereich von 385 bis 395 nm. Prinzipiell könnte somit durch Feinjustierung des Wellenlängenbereichs des UV-Lichts die Fluoreszenzintensität der zahnfarbenen Füllungsmaterialien optimiert werden. Eine Untersuchung mit UV-Licht unterschiedlicher, definierter Wellenlängen ist jedoch auf Grund des dafür erforderlichen technischen Aufwandes für die rechtsmedizinische Praxis nicht relevant.

Die Vorteile der UV-Fluoreszenz sind Schnelligkeit, Substanzschonung und die geringen Kosten. Lediglich die Beschaffung einer UV-Lampe ist notwendig. Die Struktur des Zahns bleibt unverändert und dieser ist für weitere Untersuchungen verfügbar. Aus eigenen praktischen Erfahrungen ist bei geschlossener Zahnreihe im Seitenzahnbereich die Extraktion der Zähne zu empfehlen, um das Übersehen rein approximal gelegener Füllungen zu vermeiden. Dies kann dann geschehen, wenn benachbarte Zähne mehrflächige Füllungen bis in den Approximalraum oder festsitzenden Zahnersatz besitzen.

Infrarot-Fotografie

Die Infrarotfotografie wird in der Rechtsmedizin zur Untersuchung von Weichgeweben eingesetzt (Hädrich et al. 2008). Im Ergebnis der eigenen Untersuchungen ist die digitale Infrarot-Fotografie nicht zur Darstellung von zahnfarbenen Füllungen geeignet. Da bereits in den Voruntersuchungen keine Differenzierung zwischen Zahnhartsubstanz und zahnfarbener Füllung mittels Infrarot-Fotografie möglich war (0% der Füllungen erkannt), wurden diese Fotos nicht mit in die Fragebögen einbezogen.

Röntgen

Die Röntgendiagnostik wird routinemäßig in der Zahnmedizin eingesetzt und ermöglicht in der Rechtsmedizin u.a. über den Vergleich ante- und postmortaler Röntgenbilder die Identifikation eines Leichnams. Daher wurde die Erkennbarkeit zahnfarbener Füllungen in digitalen Röntgenaufnahmen der Zähne untersucht.

Mit digitalen Zahnrontgenaufnahmen wurden etwa 80% der Füllungen durch die Untersucherin erkannt. Von den Probanden wurden auf den Röntgenbildern im Fragebogen hingegen lediglich 59% der Füllungen erkannt. Die verstärkte Fokussierung der Untersucherin auf die Erkennung der zahnfarbenen Füllungen sowie die im Rahmen dieser Studie gewonnene eigene Erfahrung können die besseren Ergebnisse bedingen.

Okklusal gelegene Füllungen im Schmelzbereich können aufgrund von Überlagerungen im Fissurenrelief schwer erkennbar sein. Daher sind okklusale Füllungen mit einer Kavitätentiefe bis ins Dentin im Röntgenbild besser beurteilbar. Vestibulär oder oral gelegene Füllungen konnten zwar erkannt werden, jedoch ist die genaue Flächenbezeichnung in einem Röntgenbild mit orthoradialen Strahlengang schwierig. Bei Schwierigkeiten der Lagebestimmung besteht daher die Möglichkeit, insbesondere im Frontzahnbereich, eine Röntgenaufnahme eines Zahns vorzunehmen, wobei der Röntgenstrahl senkrecht zum orthoradialen Strahl eintritt (Abb. 19). Dabei ist bei geschlossener Zahnreihe die Extraktion des Zahns notwendig.

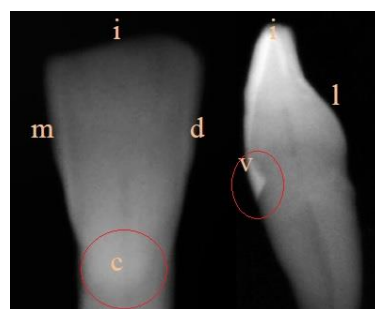


Abb. 19: Röntgenbild eines Zahns

Das linke Röntgenbild (orthoradialer Strahlengang) zeigt einen Frontzahn, bei welchem sich im zervikalen (c) Bereich eine Füllung unscharf erkennen lässt. Durch Aufnahme des Zahns mit einem senkrecht zum orthoradialen Röntgenstrahl gerichteten Strahlenverlauf (rechtes Bild), zeigt sie sich deutlich als eine vestibulär (v) im Zahnhalsbereich gelegene Füllung.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Röntgendiagnostik als alleinige Methode für die Darstellung zahnfarbener Füllungen nicht ausreichend ist. Es werden jedoch postmortale Röntgenbilder zur Identifizierung über strukturelle Merkmale der Knochen und Zähne angefertigt (Lessig und Benthaus 2003), welche unterstützend zur Erkennung der zahnfarbenen Füllungen genutzt werden können. Hierbei ist die Identifikation ebenfalls über den Vergleich mit schon vorhandenen, antemortal angefertigten Röntgenaufnahmen möglich, was eine routinemäßige Anfertigung von Orthopantomogrammen in der zahnärztlichen Praxis empfehlenswert und notwendig macht. Untersuchungen von Lessig und Benthaus (2003) ergaben ebenfalls, dass die röntgenologische Untersuchung von zahnfarbenen Füllungen hinsichtlich ihrer Lokalisation nicht ausreichend ist. Du Chesne et al. (1999) beschrieben, dass mittels Röntgendiagnostik 40% der untersuchten zahnfarbener Materialien nicht erkannt werden und daher diese Methodik zum Auffinden zahnfarbener Füllungen nicht ausreichend ist. Sie empfehlen zusätzlich eine Färbemethode. Das Ergebnis von Du Chesne et al. entspricht dem Ergebnis der Fragebögen in dieser Studie. Auch wenn die Röntgendiagnostik für das Erkennen zahnfarbener Füllungen zu ungenau ist, stellt sie ein wichtiges Hilfsmittel zum Erkennen struktureller Merkmale dar. Dabei kommt jedoch kein Zahnröntgengerät, sondern ein Orthopantomogramm zum Einsatz.

Computertomographie (CT)

Die postmortale forensische Computertomographie hat einen wichtigen Stellenwert in der Steigerung der diagnostischen Qualität (Thali et al. 2007). Jackowski et al. (2006) beschrieben den Einsatz des CT Emotion 6 (Siemens Healthcare, Erlangen) zum Auffinden von Zahnfüllungen und der Differenzierung zwischen den einzelnen Materialien. Daher wurde die Computertomographie auch in dieser Studie zur Visualisierung zahnfarbener Füllungen untersucht.

Im Computertomogramm wurden lediglich 53,5% der zahnfarbenen Füllungen durch die Untersucherin erkannt. Für die Bewertung der Zähne im CT ist die dreidimensionale Darstellung bzw. die Beurteilung mehrerer Bildebenen wichtig. Da diese Darstellungen im Fragebogen im PDF-Format nicht möglich waren und die Voruntersuchungen mit rund 50% erkannten Füllungen nur ein mäßiges Ergebnis zeigen, wurde die Methodik CT nicht mit in den Fragebogen einbezogen. Das ungenügende Ergebnis

kann durch die mangelnde Erfahrung der Untersucherin im Umgang mit einem CT bedingt sein.

Jackowski et al. (2006) untersuchten Füllungsmaterialien im Computertomogramm. Neben Kompositen und Glasionomerzementen wurden auch Amalgam, Gold und Keramik hinsichtlich ihrer Hounsfield Einheiten untersucht. Für Schmelz und die einzelnen Füllungs- bzw. Restaurationsmaterialien konnten Schwächungswerte, angegeben in Hounsfield Einheiten (HE), erfasst werden. Glasionomerzement und Komposite liegen im Bereich von 4500-17000 HE und die Zahnhartsubstanz bei 1000-4500 HE. Die Bestimmung der Schwächungswerte für die Proben der zahnfarbenen Füllungsmaterialien dieser Studie ergab einen Maximalwert von 3071 HE. Durch farbliche Kodierung der jeweiligen HE-Intervalle konnten die Restaurationen in den Untersuchungen von Jackowski et al. im CT visualisiert werden (Abb. 20).

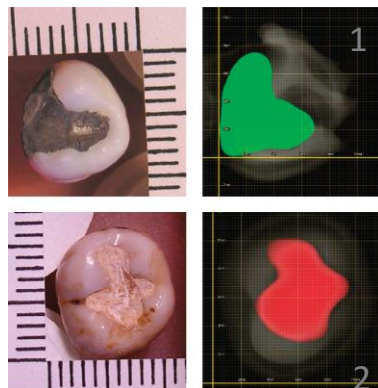


Abb. 20: Zahnaufnahmen im CT von Jackowski et al. (2006)

Amalgamrestauration (1) und Glasionomerzementrestauration (2) – deren fotografische Dokumentation (links) und farbliche Darstellung im CT (rechts) (Amalgam >30710 HE; Glasionomerzement 4500-17000 HE) (Jackowski et al. 2006)

Auch in dem CT-Programm des Computertomographen Philips MX 6000 Dual des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Leipzig wurde nach einer analogen Option gesucht. Die Funktion „Surface MIP“ ermöglicht das Ausblenden von festgelegten HE-Bereichen. Somit kann man beispielsweise alle Bereiche < 3071 HU ausblenden und aufgrund der Aufnahmen der Materialproben (HU-Maximum=3071 HU) wäre zu erwarten, dass lediglich Füllungsbereiche zurück bleiben und so die Lokalisation der Restaurationen erleichtert wird. In den Zahnaufnahmen sind jedoch auch Füllungen

dabei, deren Maximalwerte unter 3071 HU liegen. Werden alle Bereiche <2350 HE (HE-Maximalwert der Zahnhartsubstanz =2246 HE) ausgeblendet, sind mehr Füllungen sichtbar, es gibt jedoch weiterhin einen Teil der Füllungen, der ausgeblendet wird (Minimalwert der zahnfarbenen Füllungen =1663 HE). Die Untersuchungen von Jackowski et al. zeigen, dass auch die Zahnhartsubstanz Werte von bis zu 4500 HE annehmen kann. Daher ist diese Funktion zur Lokalisation der zahnfarbenen Füllungen ungeeignet, da sowohl Füllungen übersehen werden können (werden aufgrund zu niedriger Schwächungswerte ausgeblendet), als auch Schmelzbereiche noch eingeblendet sein können und somit die Ausdehnung verändert oder das Vorhandensein einer Füllung vorgetäuscht wird. Aufgrund der unterschiedlichen CT-Programme konnte mit dem in der Rechtsmedizin der Universität Leipzig vorhandenen Computertomographen nicht die von Jackowski et al. erarbeiteten Diagnosefunktionen nachgestellt werden. Da die HE-Bereiche der verschiedenen Materialien eine große Variabilität aufweisen und sich außerdem überschneiden, ist die Visualisierung zahnfarbener Füllungen mittels CT zu ungenau.

Die Computertomographie wird routinemäßig in der Rechtsmedizin eingesetzt und kann deshalb unterstützend für die Erkennung zahnfarbener Füllungen genutzt werden. Als alleinige Diagnosemethode für diese Fragestellung ist diese jedoch zu aufwendig, kostspielig und zu unsicher, besonders für das ungeübte Auge.

Schmelzfärbemethode

Bereits 1998 wurde die Schmelzfärbemethode von Benthous et al. zur Darstellung von Kompositfüllungen beschrieben. Zu Beginn dieser Studie erfolgte zunächst die Optimierung des Verfahrens, da mit der Methode nach Benthous et al. (2min Ätzen mit 37%iger Phosphorsäure, Färben mit blauer Tusche) nur ein ungenügendes Färbeargebnis erhalten wurde. Mit einem herkömmlich in der Zahnmedizin eingesetzten Ätzel (hier Ultra Etch 35%ig, Ultradent) und dem routinemäßig eingesetzten Plaquerevelator Mira-2-Ton konnten eindeutige Ergebnisse erreicht werden. Der Vorteil eines eingefärbten Ätzel ist die bessere Kontrollierbarkeit der Applikation.

In den eigenen Untersuchungen konnten alle Füllungen mittels Schmelzfärbung von der Untersucherin erkannt werden. Auch die Probanden zeigten mit 89% ein sehr gutes Ergebnis bei der Erkennung der Füllungen. Es ist dabei anzunehmen, dass sich die Bewertung bei direkter Betrachtung der Zähne noch verbessern kann. Die

wesentliche Fehlerquelle bei der Beurteilung von Füllungen mittels Schmelzfärbemethode liegt in der unsauberen Füllungslegung bzw. Füllungsbearbeitung. Die Rückstände des Adhäsivsystems an der Zahnoberfläche können die Füllungsausdehnung verändern, da diese analog zur Füllung nicht angefärbt werden. Somit kann eine Füllung größer erscheinen, als sie tatsächlich ist, was bei der Beteiligung zusätzlicher Zahnflächen den Befund verfälscht. Daher ist neben der genauen Dokumentation durch die Zahnärzte auch eine ordentliche Füllungsausarbeitung durch diese wichtig.

Benthaus et al. (1998) beschrieben die Schmelzfärbemethode zur Darstellung zahnfarbener Füllungen und erzielten in ihren eigenen Versuchen eine hohe Sensitivität der Methode. Lessig und Benthaus (2003) empfahlen vor Anwendung der Methode eine fotografische Sicherung des Zahns, welche ebenfalls in dieser Studie erfolgte. Neben der Erkennung der Füllung soll die Unterscheidung zwischen Füllungsrand und Schmelzsprung ermöglicht werden. Du Chesne et al. (1999) erwähnten die Färbemethode als unterstützendes Diagnosemittel neben dem Röntgen. Benthaus et al. (1998) konnten mit der Schmelzfärbemethode in ihren Untersuchungen alle 15 von ihm untersuchten zahnfarbenen Restaurationsmaterialien als Füllungen in Zähnen nachweisen. Die Ergebnisse dieser Studie sind mit den erwähnten Studien vergleichbar.

Die Schmelzfärbemethode hat einen mittelmäßigen Zeitaufwand, da für ein aussagekräftiges Ergebnis die Einwirkzeit des Ätzgels eingehalten werden muss. Nachteilig ist, dass nach Durchführung der Methode die Zahnhartsubstanz irreversibel verändert ist. Die Methode benötigt einen geringen finanziellen Aufwand, da lediglich das Ätzel und die Färbelösung angeschafft werden müssen. Generell ist die Extraktion der zu untersuchenden Zähne nicht zwingend notwendig. Aus eigenen praktischen Erfahrungen ist es analog zur UV-Fluoreszenz bei geschlossener Zahnreihe im Seitenzahnbereich empfehlenswert einzelne Zähne zu extrahieren, um das Übersehen rein approximal gelegener Füllungen zu vermeiden.

Es ist anzunehmen, dass auch zahnfarbene Füllungsmaterialien, welche nicht in dieser Studie untersucht wurden, mit Hilfe der Schmelzfärbung und UV-Fluoreszenz sicher erkannt werden können. Dies ist möglich, da die Schmelzfärbung unabhängig vom Füllungsmaterial anwendbar ist. Der Kontrastindex der Füllungsmaterialien ist mittelwertig größer oder kleiner 1. Jedoch liegt der Kontrastindex der Komposite bei 12 % der Füllungen nahe 1 (im Bereich von 0,95 und 1,05; s. Anhang Tab. 13), wo-

bei der Unterscheidung von der Zahnhartsubstanz mit bloßem Auge nicht möglich ist. Daher sollte bei allen mit UV-Fluoreszenz untersuchten Zähnen, welche in einem Farbton fluoreszieren, die optimierte Schmelzfärbung zur Sicherung des Ergebnisses durchgeführt werden.

6.3 Diskussion des Methodenvergleichs mittels Fragebogen

6.3.1 Untersuchung der gefüllten Zähne

Fragebögen ermöglichen die objektive Betrachtung eines Sachverhalts und den Vergleich unterschiedlicher Berufs- bzw. Probandengruppen. So untersuchten beispielsweise Rabe et al. (2007) die Einstellung von Zahnmedizinern gegenüber evidenzbasierter Zahnmedizin mittels Fragebogen. Dabei wurden Dentalhygienikerinnen, allgemeine Zahnärzte und Fachzahnärzte in die Umfrage einbezogen, um verschiedene Bereiche der Zahnmedizin zu betrachten. Auch in dieser Studie wurde der Fragebogen genutzt, um objektiv zu untersuchen, mit welcher Methode (UV-Fluoreszenz, Röntgen oder Schmelzfärbung) zahnfarbene Füllungen am besten erkannt werden können und ob es dabei Differenzen zwischen den einzelnen Probandengruppen mit unterschiedlichen praktischen Erfahrungsstand im zahnmedizinischen Bereich gibt. Somit kann durch die probandengruppenabhängige Betrachtung eingeschätzt werden, welche Gruppe für die Durchführung der jeweiligen Methode am besten geeignet ist.

Mittels UV-Fluoreszenz wurden etwa 70% der Füllungen erkannt. Dabei zeigt sich eine starke Diskrepanz zwischen den einzelnen Probandengruppen. Die Zahnärzte erkannten etwa 82%, die Zahnmedizinstudenten 70%, die Rechtsmediziner hingegen nur 56% der Füllungen. Deutlich wird dabei, dass mit den Zahnärzten - diejenige Probandengruppe, welche in der Erkennung von zahnfarbenen Füllungen erfahren ist - auch die meisten Füllungen erkennt, darauf folgend die angehenden Zahnärzte. Rechtsmediziner hingegen haben von den drei untersuchten Probandengruppen mit zahnfarbenen Füllungen die wenigsten Erfahrungen. Die Beurteilung mittels UV-Fluoreszenz sollte daher durch Zahnärzte erfolgen. Die Zahnärzte zeigen ein Konsensurteil von rund 86%. Ausgehend von 3 Beurteilern entscheidet daher die Mehrheit, also mindestens 2 Beurteiler, für das Vorhandensein einer Füllung. Für die Methode UV-Fluoreszenz liegt die Sensitivität mit 54% und Spezifität mit 55% im mittleren Bereich. In der probandengruppenabhängigen Betrachtung der Methode haben

die Zahnärzte mit einer Sensitivität von 68% und einer Spezifität von 65% die zuverlässigsten Ergebnisse abgegeben und sind damit für die Methodik UV-Fluoreszenz am qualifiziertesten. Die Ergebnisse der Zahnmedizinstudenten (Sensitivität=54%, Spezifität=80%) und Rechtsmediziner (Sensitivität=38%, Spezifität=70%) bestätigen, dass mit steigender Erfahrung die Beurteilung der zahnfarbenen Füllungen mit UV-Fluoreszenz zuverlässiger und besser ist. Somit unterstützt die Berechnung der Sensitivität und Spezifität die Schlussfolgerungen der Mittelwerte und Konsensurteile der Methode UV-Fluoreszenz.

Die Methode Röntgen ermöglichte die Erkennung von 59% der zahnfarbenen Füllungen. Auch bei dieser Methode zeigt sich ein probandengruppenabhängiger Unterschied bei der Füllungserkennung. Die Zahnärzte erkannten 68% der Füllungen, die Zahnmedizinstudenten 59% und die Rechtsmediziner 49%. Sowohl aus den Mittelwerten als auch aus der Berechnung der Konsensurteile ergibt sich, dass die Zahnärzte zur Beurteilung digitaler Röntgenbilder am meisten qualifiziert sind, darauf folgend die Zahnmedizinstudenten und zuletzt die Rechtsmediziner. Mit einer Sensitivität von 42% und einer Spezifität von 50% zeigte die Röntgenmethode die schlechtesten Werte hinsichtlich der Zuverlässigkeit. Mit einer Sensitivität von 52% und einer Spezifität von 45% sind die Zahnärzte unter den betrachteten Probandengruppen am besten für die Untersuchung mittels Röntgen qualifiziert. Auch bei dieser Methode zeigt sich, dass mit steigender Erfahrung die Ergebnisse der Probanden besser sind. Die Zahnmedizinstudenten erzielten eine Sensitivität von 44% und eine Spezifität von 80%, die Rechtsmediziner zeigen mit einer Sensitivität von 30% und einer Spezifität von 55% die am wenigsten verlässlichen Ergebnisse. Die Zahnmedizinstudenten sind jedoch bei der Erkennung von ungefüllten Zähnen zuverlässiger als die Zahnärzte. Somit unterstützt die Berechnung der Sensitivität und Spezifität die Schlussfolgerungen der Mittelwerte und Konsensurteile der Methode Röntgen.

Mit der Schmelzfärbemethode wurden in allen Probandengruppen 88 bis 90 % der Füllungen erkannt. Sowohl die Berechnung der Mittelwerte, als auch die Konsensurteile zeigen keine probandengruppenabhängigen Unterschiede. Mit der Schmelzfärbung konnten mit einer Sensitivität von 76% und einer Spezifität von 75% die verlässlichsten Ergebnisse erzielt werden. Bei der Beurteilung der Zähne nach Schmelzfärbung schwankt die Sensitivität zwischen 72% bei den Zahnärzten und 78% bei den Rechtsmedizinern und Zahnmedizinstudenten. Die Spezifität liegt im Bereich

zwischen 80% bei den Rechtsmedizinern und 90% bei den Zahnmedizinstudenten (Zahnärzte 85%). Somit zeigen alle Probandengruppen für die Schmelzfärbemethode eine hohe Verlässlichkeit und diese Methode kann in der Rechtsmedizin zuverlässig angewendet werden. Die Berechnung der Sensitivität und Spezifität unterstützt die Berechnungen der Mittelwerte und Konsensurteile der Schmelzfärbemethode.

Die Röntgendiagnostik ist schnell durchführbar, jedoch an einen hohen technischen Aufwand gebunden. Mit mittelwertig 59% erkannten Füllungen ist die Methode Röntgen zu ungenau. Die Methode UV-Fluoreszenz stellt eine sehr schnelle und technisch günstige Methode für die Erkennung der zahnfarbenen Füllungen dar und sollte als „Screening Methode“ eingesetzt werden. Die Schmelzfärbemethode ist kostengünstig, benötigt jedoch einen gewissen zeitlichen Aufwand, da die Einwirkzeiten für die Materialien berücksichtigt werden müssen. Diese Methode kann in der Rechtsmedizin ohne zahnärztliche Unterstützung zuverlässig durchgeführt werden. Allgemein entsprechen demnach die Empfehlungen, welche sich aus den Fragebogenuntersuchungen ableiten denen aus den Voruntersuchungen durch die Promovenden.

6.3.2 Untersuchung der ungefüllten Zähne

Die Betrachtung der Zähne ohne Füllungen soll einen sehr wichtigen Aspekt untersuchen, die gesunden bzw. ungefüllten Zähne als solche zu erkennen. Neben einer hohen Sensitivität ist es wichtig, dass eine Untersuchungsmethode eine möglichst hohe Spezifität aufweist. Denn auch das irrtümliche Erkennen von einer Füllung, die es nicht gibt, führt zum Aufstellen eines falschen Zahnstatus und möglicherweise zur Fehlidentifikation. Durch zweifache Betrachtung der Zähne wird deutlich, dass es eine gewisse Unsicherheit bei der Erkennung eines füllungsfreien Zahns gibt. Die größte Unsicherheit besteht bei der Methode UV-Fluoreszenz. In 28% der Fälle stimmte die erste Wertung nicht mit der 2. Wertung durch die Probanden überein. In der Auswertung der Probandengruppen zeigen für die UV-Fluoreszenz (37%) und Schmelzfärbung (23%) die Zahnärzte die größte Unsicherheit, für die Methode Röntgen die Rechtsmediziner mit 43%. Wie auch die Schilderungen von Brown (1982) zeigen, ist daher die Beurteilung einer Gebissituation durch 2 Beurteiler vorzunehmen, um das irrtümliche erkennen oder übersehen von zahnfarbenen Füllungen zu vermeiden.

6.4 Schlussfolgerungen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, eine Methode bzw. Methodenkombination zu finden, mit der möglichst schnell, eindeutig und zuverlässig zahnfarbene Füllungsmaterialien bei der postmortalen rechtsmedizinischen Befunderhebung identifiziert werden können.

Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass für die Erkennung zahnfarbener Füllungen die UV-Fluoreszenz als am besten geeignete apparative Screening Methode eingesetzt werden sollte. Sie zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die Untersuchung schnell und vor Ort (z. B. im Sektionssaal) durchgeführt werden kann und dass die Zähne nach der Untersuchung unversehrt für andere Untersuchungen (z. B. Schmelzfärbung, DNA-Untersuchungen) zu Verfügung stehen. Regulär ist die Entfernung der zu untersuchenden Zähne nicht notwendig, kann jedoch im Seitenzahnbereich bei fortlaufender Zahnreihe notwendig sein.

Ist die Füllungserkennung mittels UV-Fluoreszenz nicht eindeutig möglich, sollte zusätzlich die von uns optimierte Schmelzfärbemethode angewendet werden. Es handelt sich dabei um eine sehr zuverlässige Methode mit mittelmäßigem Zeitaufwand. Aufgrund der strukturellen und farblichen Veränderung der Zahnhartsubstanz durch das Ätzen und Färben sollte zuvor unbedingt der Primärzustand fotografisch dokumentiert werden. Die Entscheidung zur Extraktion eines Zahns richtet sich hierbei ebenfalls nach dem vorliegenden Befund.

Die Sicherheit im Erkennen von Zahnfüllungen ist abhängig von der Erfahrung und dementsprechend am größten bei Zahnärzten, gefolgt von Zahnmedizinstudenten und Rechtsmedizinern. Im Verlauf der eigenen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Sicherheit im Erkennen zahnfarbener Füllungen durch „learning by doing“ rasch zunimmt. Daher könnte die Sicherheit im Erkennen zahnfarbener Füllungen auch in der Probandengruppe der Rechtsmediziner durch Fortbildungen mit praktischen Übungen relevant verbessert werden.

7. Zusammenfassung

Die Zähne sind gegenüber Weichgeweben besonders haltbar gegen Verwesung, Fäulnis und physische bzw. chemische Einflüsse. Dies ermöglicht trotz weniger Überbleibsel eine kostengünstige, schnelle und zuverlässige Identifikation eines unbekannten Leichnams. Auch bei Masseninglücken werden viele Opfer über ihre Zähne identifiziert. Neben der Identifizierung über individuelle Strukturmerkmale, erfolgt diese durch Vergleich der ante- und postmortalen Zahnbefunde. Da die Gesellschaft einen immer höheren Anspruch an ein ästhetisch aussehendes Gebiss hat, stellen besonders zahnfarbene Füllungen eine immer stärkere Herausforderung für Zahnärzte und Rechtsmediziner bei der richtigen Erkennung dar. In der rechtsmedizinischen Praxis kann beispielsweise das Übersehen einer zahnfarbenen Füllung die eindeutige Identifikation eines unbekannten Leichnams behindern.

Das Ziel der Arbeit bestand darin, eine möglichst eindeutige, zuverlässige und kostengünstige Methode bzw. Methodenkombination herauszufinden, um zahnfarbene Füllungen bei der postmortalen rechtsmedizinischen Befundung sicher und schnell identifizieren zu können.

Um diese Fragestellung zu klären, wurden 50 Zähne mit zahnfarbenen Füllungen (27 Komposite, 1 Kompomer, 1 Glasionomerzement) versehen und 10 ungefüllte Zähne als Vergleichszähne genutzt. Alle Zähne wurden durch die Promovendin mit den Methoden UV-Fluoreszenz, Röntgen, Computertomographie, Infrarot-Fotografie und Schmelzfärbung untersucht. Dabei erwies sich die Schmelzfärbemethode als eindeutigste Methode, aber auch mit der UV-Fluoreszenz konnten mit 97% nahezu alle Füllungen erkannt werden. Mittels Röntgendiagnostik konnten 80% der Füllungen erkannt werden. Die Infrarot-Fotografie ist für diese Fragestellung ungeeignet. Das CT ist sehr kostspielig, zeitaufwendig und hat sich für die Erkennung der zahnfarbenen Füllungen als zu ungenau heraus gestellt.

Um zusätzlich eine Aussage darüber zu treffen, wie zuverlässig eine Methode in der Rechtsmedizin umsetzbar ist, wurden die Methoden, die sich aus den Voruntersuchungen als geeignet erwiesen – UV-Fluoreszenz, Röntgen, Schmelzfärbung – zusätzlich in Fragebögen untersucht und von Vertretern der Probandengruppen Zahnarzt, Zahnmedizinstudent und Rechtsmediziner begutachtet. Unabhängig von den Probandengruppen stellt die Schmelzfärbung die zuverlässigste Methode zur Dar-

stellung zahnfarbener Füllungen dar. Jedoch können auch nahezu alle zahnfarbenen direkten Restaurationen mittels UV-Fluoreszenz visualisiert werden. Da Rechtsmediziner im Umgang mit zahnfarbenen Füllungen die Übung fehlt, sollten diese in einer Fortbildung mit praktischen Übungen ihre Fähigkeiten im Umgang mit der Methodik UV-Fluoreszenz verbessern. Somit kann die UV-Fluoreszenz als schnelle, günstige und zuverlässige „Screening Methode“ für die Visualisierung zahnfarbener Füllungen in der Rechtsmedizin etabliert werden. Sollte ein Zahn nur in einem Farbton fluoreszieren, ist das Ergebnis durch Schmelzfärbung zu ergänzen. Die Diagnosesicherheit bei der Erstellung eines Zahnstatus sollte zusätzlich durch die Beurteilung durch 2 Personen gesteigert werden. Besonders bei Massenkatastrophen stellt die UV-Fluoreszenz eine Arbeitserleichterung dar.

8. Literaturverzeichnis

- Alkilzy M, Splieth C (2012) Fall 1 8-jähriger Junge mit mittlerem Kariesrisiko. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K R et al. (Hrsg.) Karies Wissenschaft und Klinische Praxis, Georg Thieme Verlag, Stuttgart , S.409-415
- Arnold W H (2006) Mikromorphologie und Molekularbiologie der Dentinogenese und Amelogenese. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 61:524-534
- Bender R, Lange S (2001) Die Vierfeldertafel. Dtsch med Wochenschr 126(Suppl. Statistik):T36-T38
- Benedict H C (1928) Discussion and Correspondence: A Note On The Fluorescence Of Teeth In Ultra-Violet Rays. Science 67:442
- Benthaus S, Du Chesne A, Brinkmann B (1998) A new technique for the post-mortem detection of tooth-coloured dental restoration. Int J Legal Med 111(3):157-159
- Blunck U, Zaslansky P (2007) Effectiveness of All-in-one Adhesive Systems Tested by Thermocycling Following Short and Long-term Water Storage. J Adhes Dent 9:231-240
- Bohnert M, Jauch E, Pollak S (2000) The UV hand lamp as helpful instrument for macroscopic visualisation of myocardial fibrosis during autopsy. Int J Legal Med 114:107-108
- Brown K A (1982) The Identification of Linda Agostini. The Significance of Dental Evidence In The Albury 'Pyjama Girl' Case. A Case Report. Forensic Science International 20:81-86
- Bush M A, Bush P J, Miller R G (2006) Detection and Classification of Composite Resins in Incinerated Teeth for Forensic Purposes. J Forensic Sci 51(3):636-642
- Bush M A, Hermanson A S, Yetto R J, Wieczkowski G (2010) The use of ultraviolet LED illumination for composite resin removal: An in vitro study. Operative Dentistry:e214-e218

- Clark D H, Ruddick R F (1985) Post Mortem Detection of Tooth Coloured Dental Restorations by Ultra Violet Radiation. *Acta Med Leg Soc* 35(1):278-284
- Dettmeyer R B, Verhoff M A (2011) *Rechtsmedizin*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, S.239-246
- Dettmeyer R B, Schütz H F, Verhoff M A (2014) *Rechtsmedizin*. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S.257-268
- Du Chesne A, Benthaus S, Brinkmann B (1999) Zum Beweiswert von Röntgenbildern bei der Lokalisation zahnfarbener Füllungswerkstoffe. *Arch Kriminol* 203:86-90
- Düker J (2006) *Praxisleitfaden Zahnärztliche Radiologie*. Elsevier Urban & Fischer Verlag, München, S.2, 86-163
- Europäische Patentschrift (2003) Bariumfreies Dentalglas mit guter Röntgenabsorption. EP 0 716 049 B1
- Frankenberger R (2009) Direkte Frontzahnfüllungen – Ästhetik und Funktion. In: Schmidseder J, Munz T (Hrsg.) *Ästhetische Zahnmedizin*. 2.Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.119-125
- Frankenberger R, Blunck U (2012) Minimal-invasive Therapie mit zahnfarbenen plastischen Füllungsmaterialien. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K R et al. (Hrsg.) *Karies Wissenschaft und Klinische Praxis*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.299-315
- Hädrich C, Huffziger A, Lessig R (2008) Infrarotfotografie in der rechtsmedizinischen Praxis. Abstract zum Vortrag auf der Jahrestagung der DGRM. *Rechtsmedizin*, Dresden
- Haffner H T, Graw M, Setz J, Hoppe B (1997) Die Zuordnungswahrscheinlichkeit eines numerisch-topographischen Zahnstatus bei der Identifikation unbekannter Leichen. *Rechtsmedizin* 8:22-27
- Hausmann R, Liebler M, Schellmann B (1997) Zur Personenidentifikation mittels Zahnstatus Quantität und Qualität zahnärztlicher Befunddokumentation. *Rechtsmedizin* 7:86-89

- Heinemann A, Grabherr S, Vogel H (2013) Bildgebung zur Klärung des Behandlungsfehlervorwurfs. Rechtsmedizin 23(3):207-219
- Hellwig E, Klimek J, Attin T (2010) Einführung in die Zahnerhaltung. 5.Aufl., Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, S.5, 183
- Hermanson A S, Bush M A, Miller R G, Bush P J (2008) Ultraviolet Illumination as an Adjunctive Aid in Dental Inspection. J Forensic Sci 53(2):408-411
- Hervás-García A, Martínez-Lozano M A, Cabanes-Vila J, Barajau-Escribano A, Fosalve P (2006) Composite resins. A review of the materials and clinical indications. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 11:E215-20
- Iqbal K (2012) Particle Size Variations In The Glass Component Of Glass-Ionomer Dental Cements. J Ayub Med Coll Abbottabad 24(2):41-43
- Jackowski C, Lussi A, Classens M, Kilchoer T, Bolliger S, Aghayev E, Criste A, Dirnhöfer R, Thali M J (2006) Extended CT Scale Overcomes Restoration Caused Streak Artifacts for Dental Identification in CT - 3D Color Encoded Automatic Discrimination of Dental Restorations. J Comput Assist Tomogr 30(3):510-513
- Kara K, Nowarra C (2014) Computertomographie (CT). In: Hartmann T, Kahl-Scholz M, Vockelmann C et al. (Hrsg.) Fachwissen MTRA. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, S.119-144
- Krause F (2008) Fluoreszenzbasierte optische Methoden zur okklusalen Kariesdiagnostik. LaserZahnheilkunde 1:13-19
- Lehmann K M, Hellwig E, Wenz H J (2012) Zahnärztliche Propädeutik Einführung in die Zahnheilkunde. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, S.12
- Lessig R, Benthaus S (2003) Forensische Odontostomatologie. Rechtsmedizin 13:161-169
- Lessig R, Aspinall L, Bratzke H (2009) Identifizierungstätigkeit bei Massenunfällen und Katastrophen. Rechtsmedizin 19:209-212
- Lutskaya I K, Novak N V, Kavetsky V P (2011) Fluoreszenz von Zahnhartsubstanz und Füllungsmaterialien. ZMK 27(12):808-812

- Meffert H, Piazena H (2002) Wirkungen künstlich erzeugter Infrarotstrahlung auf den Menschen. *Akt Dermatol* 28:187-192
- Molander B, Gröndahl H G, Ekestubbe A (2004) Quality of film-based digital panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology* 33:32-36
- Mondelli R F L, Wang L, Garcia F C P, Prakki A, Mondelli J, Franco E B, Ishikiriama A (2005) Evaluation Of Weight Loss And Surface Roughness Of Compomers After Simulated Toothbrushing Abrasion Test. *J Appl Oral Sci* 13(2):131-5
- Perrier M (1998) Einführung in die Forensische Zahnmedizin Gerichts- oder forensische Odontostomatologie: Zahnmedizin im Dienst der Justiz. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 109(3):247-253
- Pioch T (2005) Anwendungen der Lasertechnik in der Zahnarztpraxis. In: Bille J, Schlegel W (Hrsg.) *Medizinische Physik 3 Medizinische Laserphysik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, S.413-433
- Pretty I A, Sweet D (2001) A look at forensic dentistry – Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *British Dental Journal* 190(7):359-366
- Rabe P, Holmén A, Sjögren P (2007) Attitudes, awareness and perceptions on evidence based dentistry and scientific publications among dental professionals in the county of Halland, Sweden: a questionnaire survey. *Swedish Dental Journal* 31(3):113-120
- Röntgen W C (1898) Ueber eine neue Art von Strahlung. *Annalen der Physik und Chemie* 64(1):1-11
- Rötzscher K (2000) *Forensische Zahnmedizin*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- Röntgenverordnung – RöV vom 11.12.2014; Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen, S.22 §21
- Rüttermann S, Ritte J, Raab W H M, Bayer R, Janada R (2007) Laser-induced fluorescence to discriminate between a dental composite resin and tooth. *Dental Materials* 23:1390-1396

- Schmidseder J, Munz T (2009) Präparation von Keramikinlays. In: Schmidseder J, Munz T (Hrsg.) Ästhetische Zahnmedizin. 2.Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.196
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K (2006) Prometheus LernAtlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 37-41
- Schuller-Götzeburg P, Suchanek J, Gugler J (2005) Identifizierung der Tsunamiopfer im Thai Tsunami Victim Identification-Information Management Center (TTVI-IMC) in Phuket, Thailand. Stomatologie 102(4):09-113
- Schulze R (2006) Aktueller Stand der digitalen Röntgentechnik. Zm 96(6):42-48
- Schweitzer W, Bartsch C, Ruder T D, Thali M J (2014) Virtopsy approach: Structured reporting versus free reporting for PMCT findings. Journal of Forensic Radiology and Imaging 2:28-33
- Sidhu S K (2011) Glass-ionomer cement restorative materials: a sticky subject?. Australian Dental Journal 56(1):23-30
- Stokes G G (1852) On the Change of Refrangibility of Light. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 142:463-562(
- Stübel H (1911) Die Fluoreszenz tierischer Gewebe in ultravioletterm Licht. Arch. Ges. Physiol. 142: 1-14
- Takahashi M K, Vieira S, Rached R N, Almeida J B, Aguiar M, Souza E M (2008) Fluorescence Intensity of Resin Composites and Dental Tissues Before and After Accelerated Aging: A Comparative Study. Operative Dentistry 33(2):189-195
- Thali M J, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross S G, Dirnhofer R (2007) Virtopsy – The Swiss virtual autopsy approach. Legal Medicine 9(2):100-104
- Van Landuyt K L, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, Coutinho E, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B (2007) Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials 28:3757-3785

- Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, Yoshida Y, Peumans M, Lambrechts P, Vanherle (2001) Adhesives and Cements to Promote Preservation Dentistry. Operative Dentistry Supplement 6:119-144
- Villarroel M, Fahl N, De Sousa A M, De Oliveira O B (2011) Direct Esthetic Restorations Based on Translucency and Opacity of Composite Resins. J Esthet Restor Dent 23:73-88
- Wenzel A (2006) A review of dentists' use of digital radiography and caries diagnosis with digital systems. Dentomaxillofacial Radiology 35:307-314
- Wright F D, Golden G S (2010) Forensic Dental Photography. In: Senn D R, Stimson P G (Hrsg.) Forensic Dentistry. 2.Aufl., Taylor&Francis Group, S.203-244
- Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellemans L, Lambrechts P, Vanherle G, Wakasa K (2000) Evidence of Chemical Bonding at Biomaterial-Hard Tissue Interfaces. J Dent Res 79:709-714
- Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A (2010) Kompositmaterialien: Zusammensetzung, Eigenschaften und klinische Anwendung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 120(11):980-986

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Zahns (modifiziert nach Schünke et al. 2006).....	11
Abbildung 2: Optische Phänomene am Zahn	15
Abbildung 3: Die Röntgenopazität von Kunststoffen im Vergleich zur Zahnhartsubstanz.....	18
Abbildung 4: Die Einteilung der Adhäsivsysteme	19
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Zahnflächen (modifiziert nach Lehmann et al. 2012)	28
Abbildung 6: Fotodokumentation der Arbeitsschritte	28
Abbildung 7: Probenzahn nach Ätzen und Färben	32
Abbildung 8: Mittelwerte von „0“ und „1“ für die Methoden	39
Abbildung 9: Helligkeitsintensitäten der Füllungsmaterialien	40
Abbildung 10: Digitale IR-Foto von Zähnen mit Füllungen	40
Abbildung 11: Betrachtung der Methoden – probandengruppenunabhängig	42
Abbildung 12: Betrachtung der Methode UV – probandengruppenabhängig	43
Abbildung 13: Betrachtung der Methode Röntgen – probandengruppenabhängig ...	44
Abbildung 14: Betrachtung der Schmelzfärbemethode – probandengruppenabhängig	44
Abbildung 15: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methoden – probandengruppenunabhängig	45
Abbildung 16: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methode UV – probandengruppenabhängig	46
Abbildung 17: ungefüllte Zähne: Betrachtung der Methode Röntgen – probandengruppenabhängig	47

Abbildung 18: : ungefüllte Zähne: Betrachtung der Schmelzfärbemethode – probandengruppenabhängig	48
Abbildung 19: Röntgenbild eines Zahns	54
Abbildung 20: Zahnaufnahmen im CT von Jackowski et al. (2006)	56
Abbildung 22: Fotos der gefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz.....	81
Abbildung 23: Fotos der ungefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz.....	82
Abbildung 24: Röntgenbilder der gefüllten Zähne.....	83
Abbildung 25: Röntgenbilder der ungefüllten Zähne.....	84
Abbildung 26: Fotos der gefüllten Zähne nach Schmelzfärbung	86
Abbildung. 27: Fotos der ungefüllten Zähne nach Schmelzfärbung	87

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung von Schmelz und Dentin (vereinfachte Mittelwertdarstellung) (Arnold, 2006).....	12
Tabelle 2: Bestandteile zahnärztlicher Komposite (Hervás-García et al. 2006).....	13
Tabelle 3: verwendete Füllungsmaterialien	26
Tabelle 4: verwendete Adhäsivsysteme	27
Tabelle 5: Ermittlung des optimalen Versuchsablaufs für die Schmelzfärbemethode	31
Tabelle 6: Flächenbezeichnungen der Zähne.....	32
Tabelle 7: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität angewendet auf diese Studie.....	34
Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse der Untersucherin	35
Tabelle 9: Übersicht der Ergebnisse der Fragebögen	36
Tabelle 10: Übersicht der Probandengruppen-abhängigen Ergebnisse der Fragebögen	36
Tabelle 11: Sensitivität und Spezifität der einzelnen Methoden anhand der Ergebnisse der Fragebögen.....	37
Tabelle 12: Sensitivität und Spezifität der einzelnen Methoden in Abhängigkeit der Probandengruppe.....	38
Tabelle 13: Helligkeitswerte der Füllungsmaterialien und der Zahnhartsubstanz	75
Tabelle 14: HU-Werte.....	77
Tabelle 15: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Füllungen.....	88
Tabelle 16: Daten für die statistische Auswertung der ungefüllten Zähne	92
Tabelle 17: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Zähnen	94

Tabelle 18: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz, probandengruppenunabhängig	96
Tabelle 19: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen, probandengruppenunabhängig	96
Tabelle 20: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode, probandengruppenunabhängig.....	97
Tabelle 21: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Zahnärzte	97
Tabelle 22: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten	98
Tabelle 23: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Rechtsmediziner	98
Tabelle 24: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Zahnärzte	99
Tabelle 25: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten	99
Tabelle 26: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Rechtsmediziner	100
Tabelle 27: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Zahnärzte	100
Tabelle 28: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten	101
Tabelle 29: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Rechtsmediziner.....	101

11. Anhang

Tab. 13: Helligkeitswerte der Füllungsmaterialien und der Zahnhartsubstanz

Die Tabelle zeigt die mit der Software Adobe Photoshop CS6 (Adobe Systems GmbH; Funktion „Gradationskurven“) ermittelten Helligkeitswerte (auch Helligkeitsintensität (I)) für jede Füllung (F) und die Zahnhartsubstanz (ZHS). Für jedes digitale Foto bzw. jede gelegte zahnfarbene Füllung und die Zahnhartsubstanz wurde der Maximalwert notiert. Um den Anteil der Helligkeitsintensität der Füllung ($I(F)$) zum Zahn ($I(ZHS)$) zu bestimmen, wurde der Quotient $I(F)/I(ZHS)$ gebildet. Die Füllungsmaterialien wurden in die Gruppen Glasionomerzement, Kompomer und Komposit unterteilt, für jede Materialgruppe wurde ein Mittelwert (MW) erstellt.

Materialgruppe	I(F)	I(ZHS)	$I(F)/I(ZHS)$	MW $I(F)/I(ZHS)$
Glasionomerzement	74	119	0,62	0,67
	68	96	0,71	
Kompomer	92	74	1,24	1,37
	155	115	1,35	
	171	126	1,36	
	156	103	1,51	
	122	103	1,18	
Komposit	78	68	1,15	1,15
	146	116	1,26	
	118	91	1,30	
	61	94	0,65	
	63	75	0,84	
	103	101	1,02	
	76	74	1,03	
	106	103	1,03	
	134	120	1,12	
	65	65	1,00	
	143	137	1,04	
	68	75	0,91	
	73	73	1,00	
	64	68	0,94	
	49	56	0,88	
	65	81	0,80	
	78	99	0,79	
	33	62	0,53	
	52	57	0,91	
	126	96	1,31	
	138	91	1,52	
	158	91	1,74	
	161	136	1,18	
	92	76	1,21	
	102	96	1,06	
	148	111	1,33	
	99	94	1,05	
	60	58	1,03	

Fortsetzung Tab. 13: Helligkeitwerte der Füllungsmaterialien und der Zahnhartsubstanz

55	62	0,89
86	83	1,04
73	65	1,12
136	113	1,20
53	63	0,84
155	143	1,08
38	41	0,93
79	70	1,13
140	115	1,22
56	67	0,84
143	117	1,22
70	60	1,17
135	96	1,41
127	96	1,32
146	109	1,34
173	125	1,38
152	126	1,21
156	106	1,47
133	91	1,46
73	58	1,26
82	69	1,19
77	67	1,15
151	119	1,27
87	81	1,07
125	90	1,39
156	116	1,34
106	96	1,10
110	112	0,98
139	100	1,39
164	126	1,30
134	113	1,19
117	92	1,27
129	104	1,24
150	105	1,43
121	102	1,19
122	108	1,13
93	71	1,31
104	94	1,11
84	110	0,76
61	70	0,87
75	63	1,19
131	110	1,19
120	111	1,08
166	105	1,58
118	99	1,19
51	51	1,00
72	91	0,79
90	100	0,90
71	60	1,18
160	116	1,38
165	141	1,17
82	72	1,14
126	104	1,21

Fortsetzung Tab. 13: Helligkeitswerte der Füllungsmaterialien und der Zahnhartsubstanz

103	87	1,18
137	109	1,26
68	63	1,08
140	119	1,18
42	40	1,05
141	111	1,27
82	61	1,34
98	64	1,53
159	103	1,54
130	95	1,37
115	88	1,31

Tab. 14: HU-Werte

Im CT bestimmte HU Werte der erkannten Füllungen und der Zahnhartsubstanz, je in einer Schnittebene. Es wurde jeweils der HU-Maximalwert des Materials bzw. des Zahns in einer Schnittebene notiert.

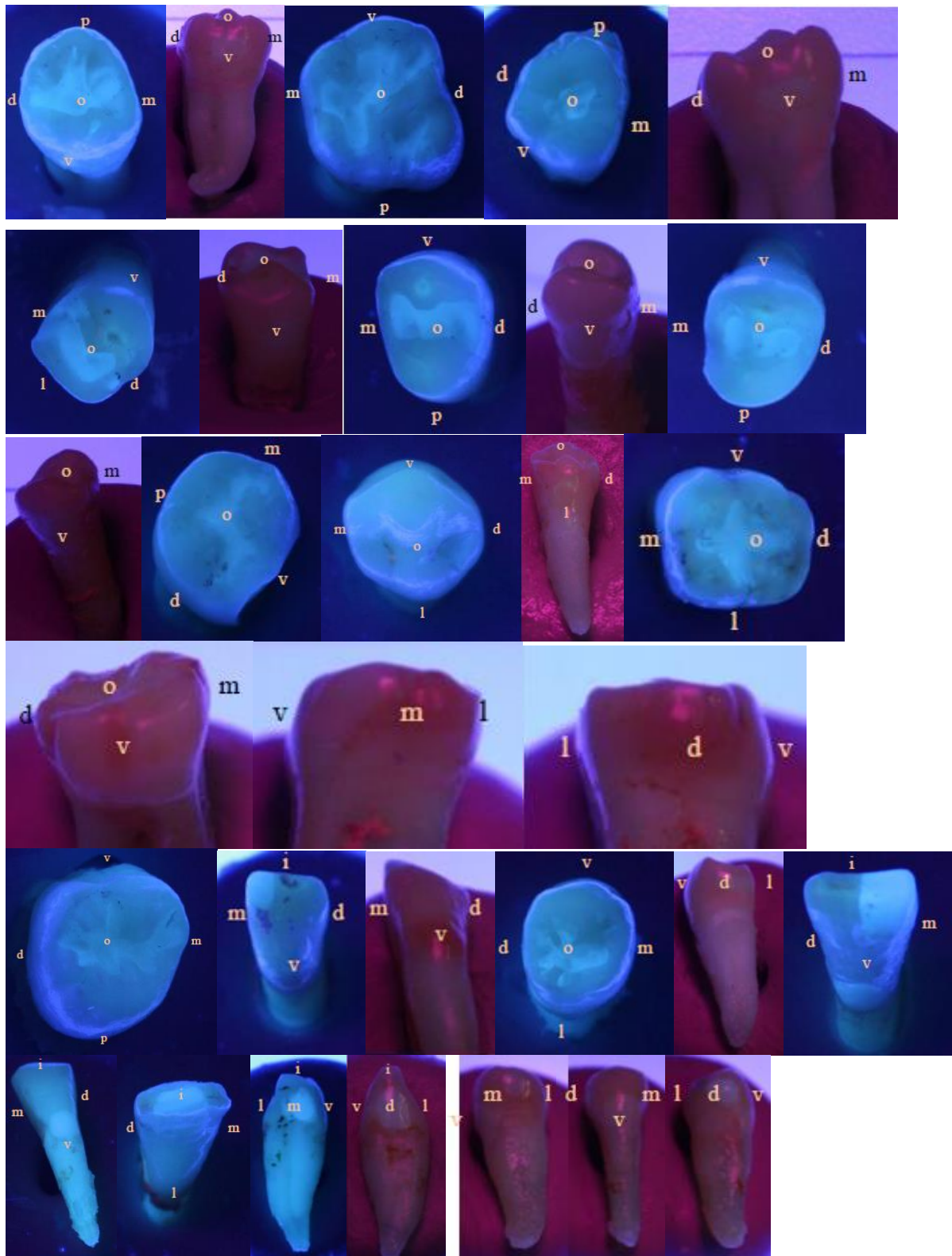
im CT erkannte Füllungen, durchnummeriert	HU Wert für Füllung	HU Wert für Zahn
1	2466	1091
2	2530	975
3	2624	1206
4	3071	1594
5	3071	1157
6	3071	1271
7	2484	1092
8	2161	1436
9	2774	1344
10	3071	1420
11	3071	1416
12	2550	915
13	1808	1208
14	1738	959
15	3071	1208
16	3064	1455
17	3071	1455
18	3071	1743
19	3071	436
20	1712	1056
21	3067	2026
22	2729	864
23	3071	974
24	2253	1371
25	3071	1012
26	1912	1103
27	3071	1331

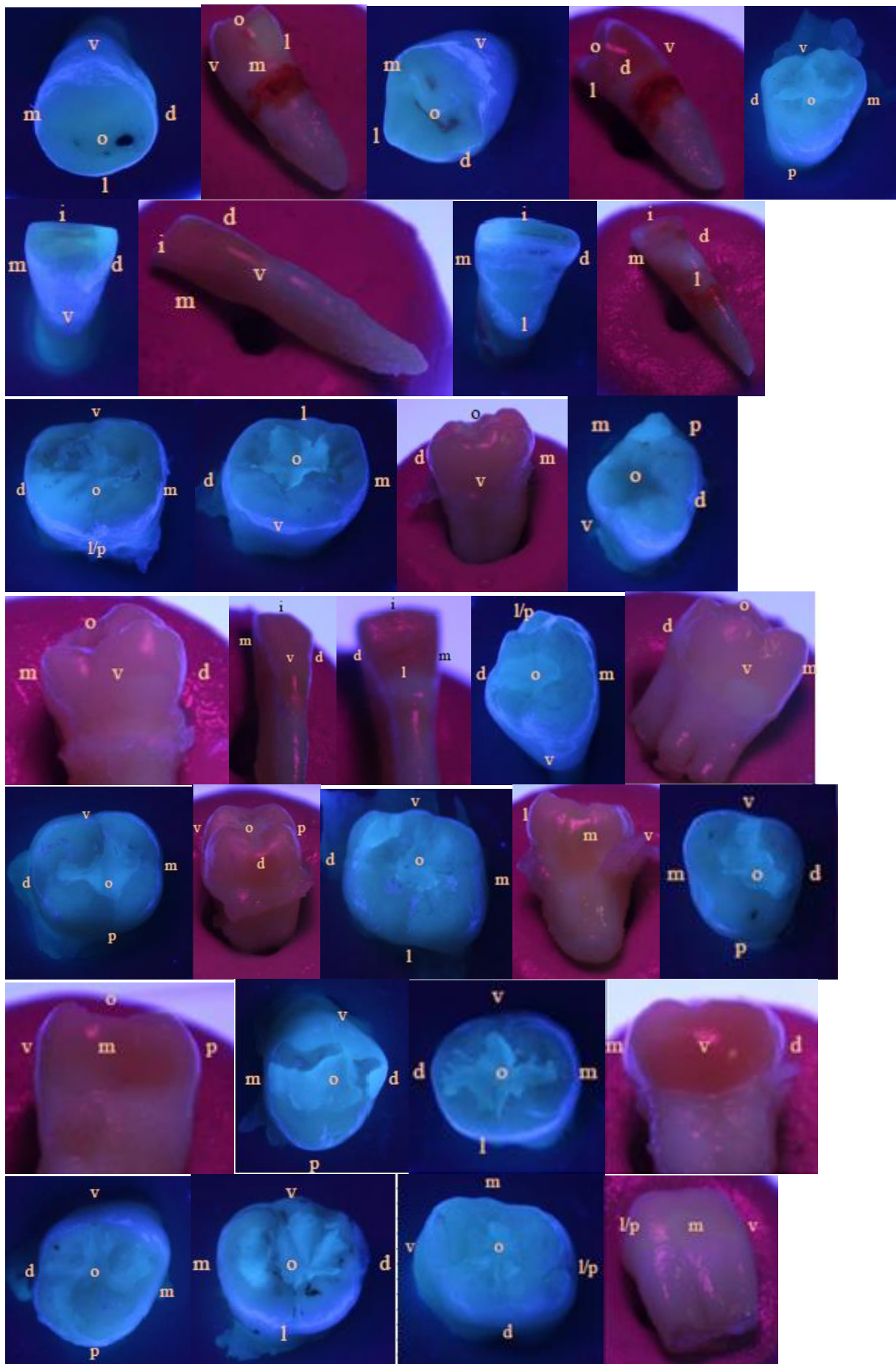
Fortsetzung Tab. 14: HU-Werte

28	2053	1088
29	2173	1088
30	2406	1348
31	3071	1658
32	1868	695
33	3071	2084
34	2446	1243
35	3071	1858
36	2207	1284
37	2248	1277
38	3071	1179
39	2945	704
40	2326	1218
41	3071	1314
42	2110	1464
43	1864	1042
44	2187	1228
45	3071	1582
46	3071	1427
47	1849	1140
48	3071	2078
49	3071	2246
50	3071	1288
51	1663	679
52	3071	982
53	3071	1240
Maximalwert	3071	2246
Minimalwert	1663	436
Mittelwert	2640,02	1274,57

Abbildungen der Fragebögen

Fotos der gefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz





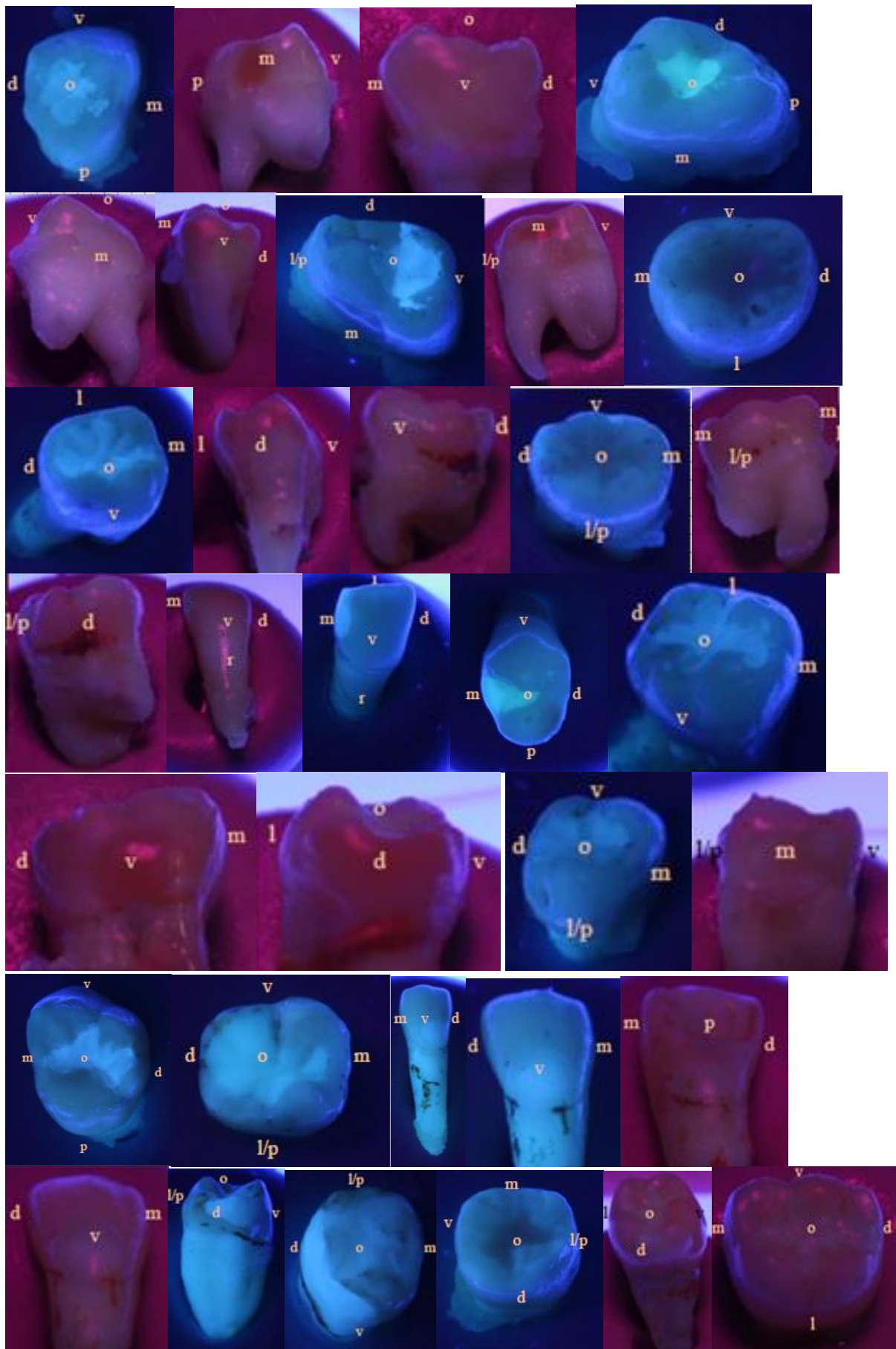


Abb. 21: Fotos der gefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz

mit Beschriftung der Zahnflächen (d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-
palatal, r-radikulär , v-vestibulär)

Fotos der ungefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz

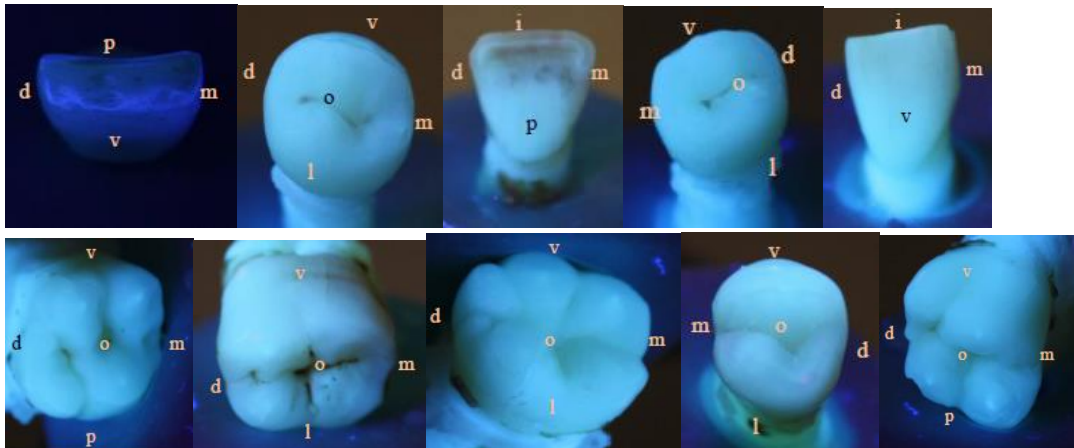
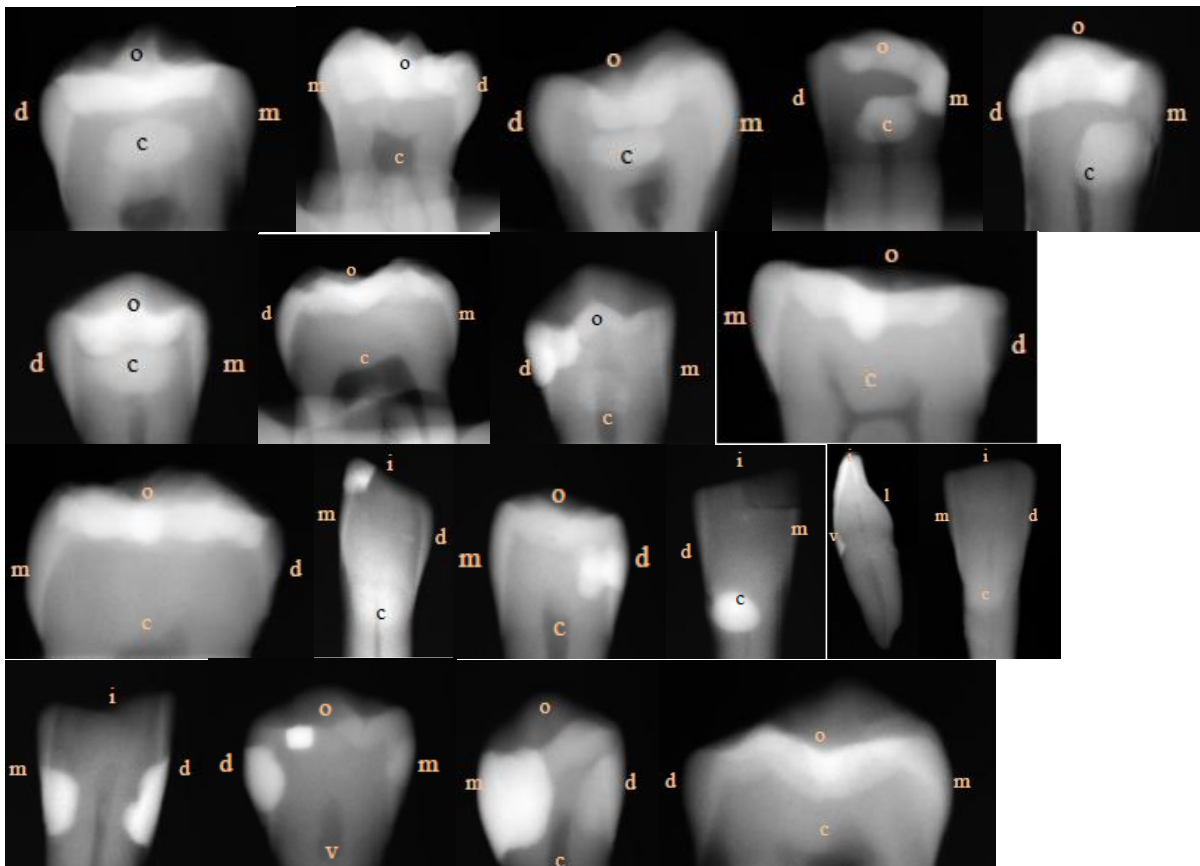


Abb. 22: Fotos der ungefüllten Zähne mit UV-Fluoreszenz

mit Beschriftung der Zahnflächen (d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-palatinal, v-vestibulär)

Röntgenbilder der gefüllten Zähne



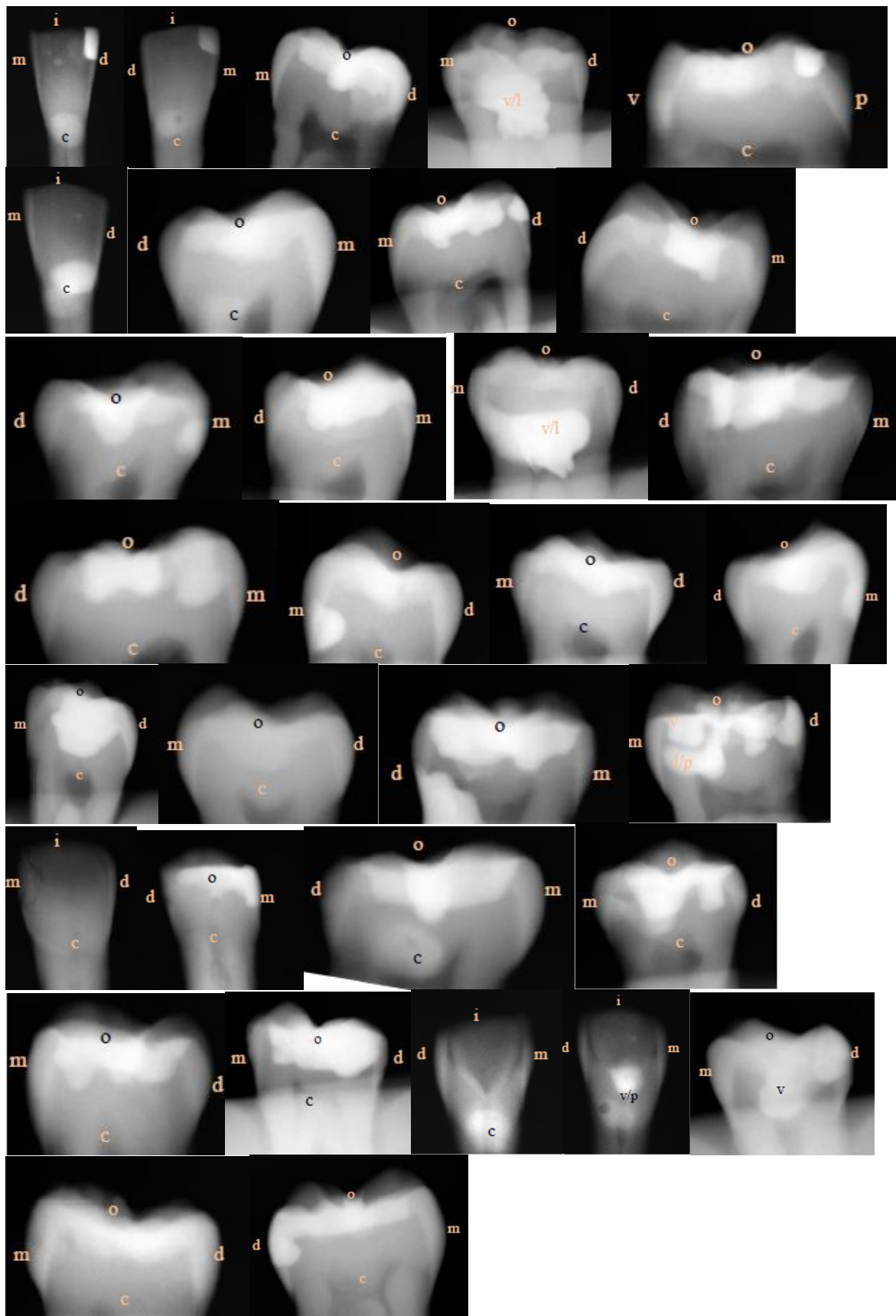


Abb. 23: Röntgenbilder der gefüllten Zähne

mit Beschriftung der Zahnflächen (c- zervikal, d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-palatinal, v-vestibulär)

Röntgenbilder der ungefüllten Zähne

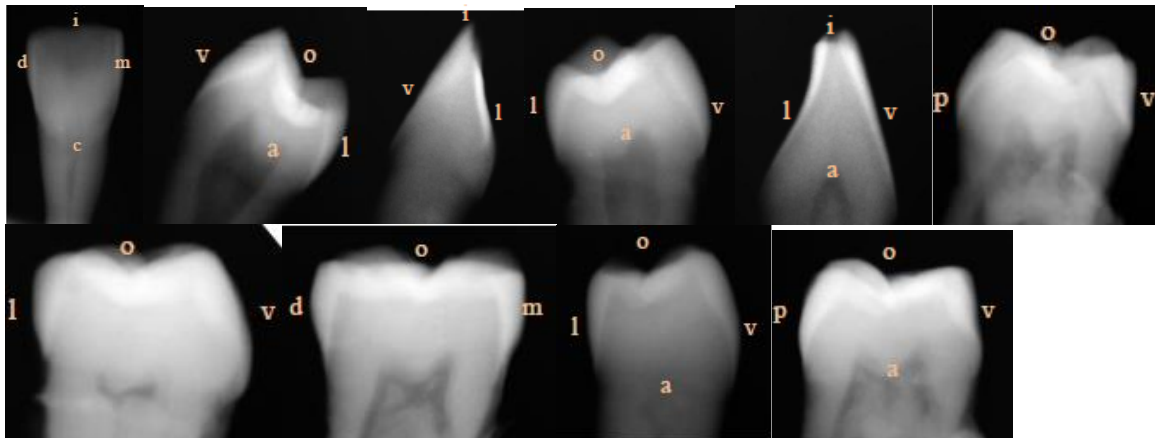


Abb. 24: Röntgenbilder der ungefüllten Zähne

mit Beschriftung der Zahnflächen (a-approximal, c- zervikal, d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-palatinal, v-vestibulär)

Fotos der gefüllten Zähne nach Schmelzfärbung





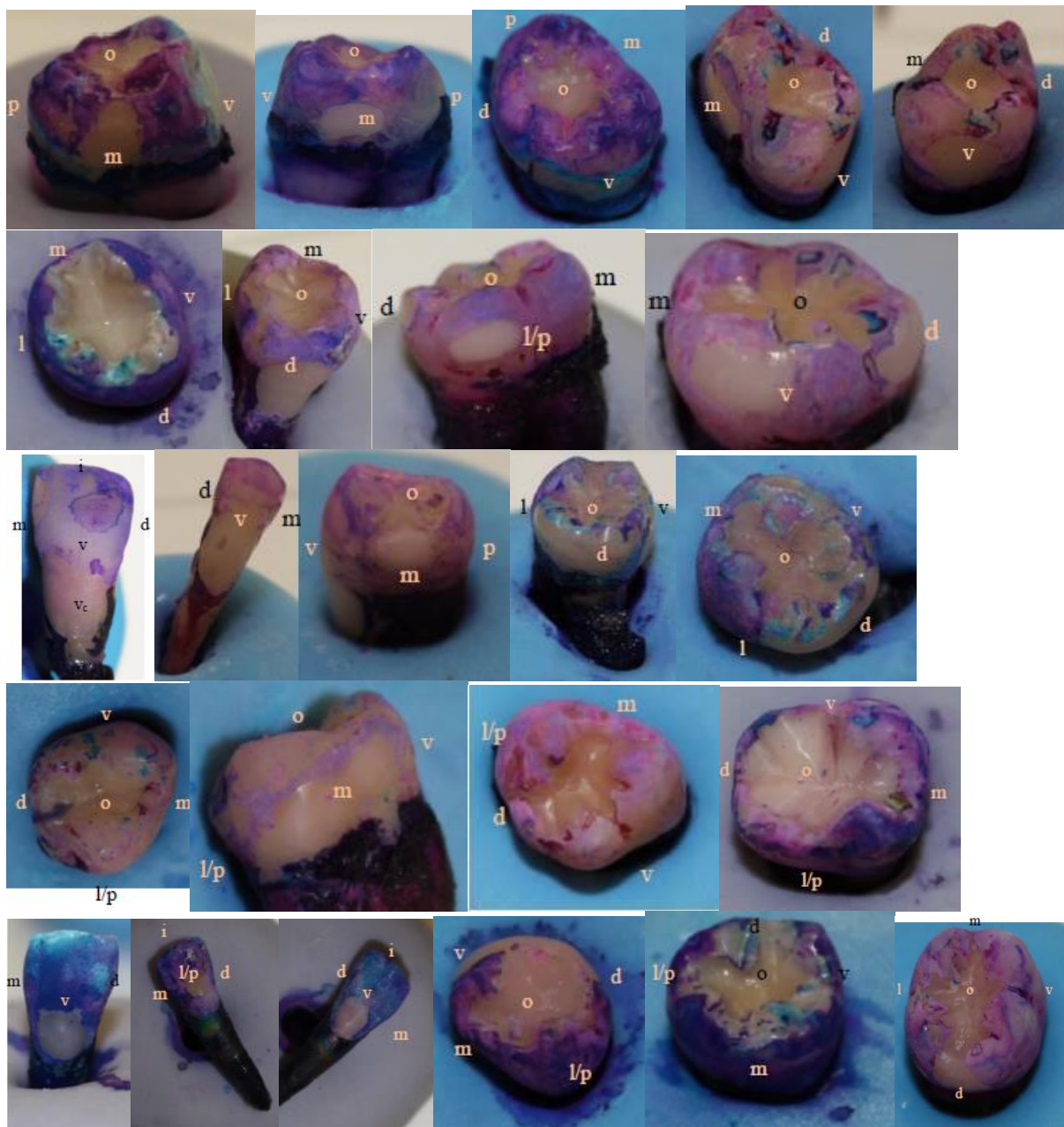


Abb. 25: Fotos der gefüllten Zähne nach Schmelzfärbung

mit Beschriftung der Zahnflächen (d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-palatinal, r-radikulär, v-vestibulär)

Fotos der ungefüllten Zähne nach Schmelzfärbung

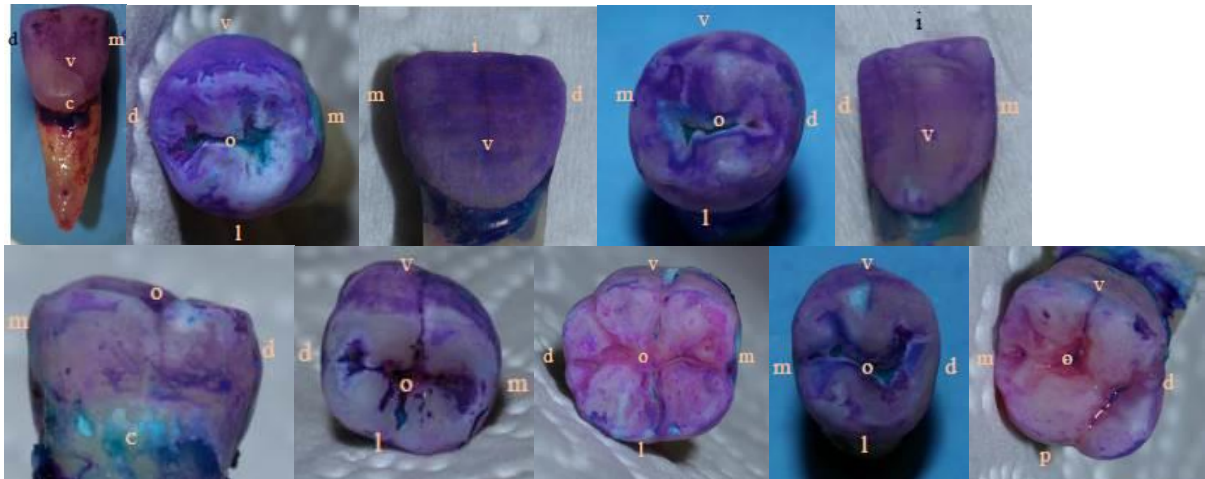


Abb. 26: Fotos der ungefüllten Zähne nach Schmelzfärbung

mit Beschriftung der Zahnflächen (c-zervikal, d-distal, i-incisal, l-lingual, m-mesial, o-okklusal, p-palatinal, v-vestibulär)

Tab. 15: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Füllungen

Antworten der Vertreter (je drei) der drei Probandengruppen (Z-Zahnarzt, S-Zahnmedizinstudent, R-Rechtsmediziner) für die Methoden UV-Fluoreszenz (UV) Röntgen (Rö) und Schmelzfärbung (F) umgearbeitet in „0“-nicht erkannt und „1“-erkannt

		Methode und Probandengruppe																										
		UVZ1	UVZ2	UVZ3	UVS1	UVS2	UVS3	UVR1	UVR2	UVR3	RöZ1	RöZ2	RöZ3	RöS1	RöS2	RöS3	RöR1	RöR2	RöR3	FZ1	FZ2	FZ3	FS1	FS2	FS3	FR1	FR2	FR3
Füllung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
	4	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	8	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	9	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	12	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	14	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	17	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
	18	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	19	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	22	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	25	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fortsetzung Tab. 15: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Füllungen

26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
31	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
32	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
33	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
35	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
37	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
38	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
40	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
43	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
44	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
45	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
46	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
47	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
48	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
49	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
52	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fortsetzung Tab. 15: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Füllungen

55	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	
57	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	
58	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
59	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
61	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
62	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
66	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
68	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
69	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
70	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
71	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
72	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
73	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
74	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
75	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	
78	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
79	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
80	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
81	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
82	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
83	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	

Fortsetzung Tab. 15: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Füllungen

84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
86	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
88	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	
89	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
90	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
91	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
92	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
93	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
94	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
96	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
97	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	
98	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	
99	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	

Tab. 16: Daten für die statistische Auswertung der ungefüllten Zähne

Antworten der Vertreter (je drei) der drei Probandengruppen (Z-Zahnarzt, S-Zahnmedizinstudent, R-Rechtsmediziner) für die Methoden UV-Fluoreszenz (UV) Röntgen (Rö) und Schmelzfärbung (F) umgearbeitet in „0“-nicht erkannt und „1“-erkannt für jeweils 10 Zähne; .1 - erste Betrachtung, .2 – 2. Betrachtung

		Probandengruppe																	
		Z1.1	Z1.2	Z2.1	Z2.2	Z3.1	Z3.2	S1.1	S1.2	S2.1	S2.2	S3.1	S3.2	R1.1	R1.2	R2.1	R2.2	R3.1	R3.2
Zahn und Methode	UV1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	UV2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	UV3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
	UV4	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	UV5	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	UV6	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
	UV7	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	UV8	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	UV9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	UV10	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	Rö1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rö2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
	Rö3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Rö4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Rö5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	Rö6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	Rö7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
	Rö8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
	Rö9	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Rö10	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
	F1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0

Fortsetzung Tab. 16: Daten für die statistische Auswertung der ungefüllten Zähne

	F2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	F3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	F4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	F5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	F6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	F7	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
	F8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	F9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	F10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tab. 17: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Zähnen

Antworten der Vertreter (je drei) der drei Probandengruppen (Z-Zahnarzt, S-Zahnmedizinstudent, R-Rechtsmediziner) für die Methoden UV-Fluoreszenz (UV) Röntgen (Rö) und Schmelzfärbung (F) umgearbeitet in „0“-nicht erkannt und „1“-erkannt

		Methode und Probandengruppe																											
		UVZ1	UVZ2	UVZ3	UVS1	UVS2	UVS3	UVR1	UVR2	UVR3	RöZ1	RöZ2	RöZ3	RöS1	RöS2	RöS3	RöR1	RöR2	RöR3	FZ1	FZ2	FZ3	FS1	FS2	FS3	FR1	FR2	FR3	
Zahn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	
	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	
	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
	6	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
	7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	
	9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	
	11	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	
	12	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
	13	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	14	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	
	16	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
	18	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
	19	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	20	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	
	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	
	22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	

Fortsetzung Tab. 17: Daten für die statistische Auswertung der gefüllten Zähne, nach Zähnen

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
24	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
26	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
29	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
30	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
31	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
33	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
39	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
42	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0
43	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
49	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1

Tab. 18: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz, probandengruppenunabhängig

		UV	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	27	23
	nein (F-)	9	11

$$\text{Sens} = 27/(27+23) = 0,54$$

$$\text{Spez} = 11/(11+9) = 0,55$$

Tab. 19: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen, probandengruppenunabhängig

		Röntgen	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	21	29
	nein (F-)	10	10

$$\text{Sens} = 21/(21+29) = 0,42$$

$$\text{Spez} = 10/(10+10) = 0,5$$

Tab. 20: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode, probandengruppenunabhängig

		Schmelzfärbung	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	38	12
	nein (F-)	5	15

Sens = $38/(38+12)$ = **0,76**

Spez = $15/(15+5)$ = **0,75**

Tab. 21: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Zahnärzte

		UV	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	34	16
	nein (F-)	7	13

Sens = $34/(34+16)$ = **0,68**

Spez = $13/(13+7)$ = **0,65**

Tab. 22: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten

		UV	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	27	23
	nein (F-)	4	16

Sens = $27/(27+23) = 0,54$

Spez = $16/(16+4) = 0,8$

Tab. 23: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode UV-Fluoreszenz und die Probandengruppe Rechtsmediziner

		UV	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	19	31
	nein (F-)	6	14

Sens = $19/(19+31) = 0,38$

Spez = $14/(14+6) = 0,7$

Tab. 24: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Zahnärzte

		Röntgen	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	26	24
	nein (F-)	11	9

Sens = $26/(26+24) = 0,52$

Spez = $9/(9+11) = 0,45$

Tab. 25: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten

		Röntgen	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	22	28
	nein (F-)	4	16

Sens = $22/(22+28) = 0,44$

Spez = $16/(16+4) = 0,8$

Tab. 26: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Methode Röntgen und die Probandengruppe Rechtsmediziner

		Röntgen	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	15	35
	nein (F-)	9	11

Sens = $15/(15+35) = 0,3$

Spez = $11/(11+9) = 0,55$

Tab. 27: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Zahnärzte

		Schmelzfärbung	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	36	14
	nein (F-)	3	17

Sens = $36/(36+14) = 0,72$

Spez = $17/(17+3) = 0,85$

Tab. 28: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Zahnmedizinstudenten

		Schmelzfärbung	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	39	11
	nein (F-)	2	18

Sens = $39/(39+11) = 0,78$

Spez = $18/(18+2) = 0,9$

Tab. 29: Kreuztabelle zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität für die Schmelzfärbemethode und die Probandengruppe Rechtsmediziner

		Schmelzfärbung	
		erkannt (M+)	nicht erkannt (M-)
Füllung	ja (F+)	39	11
	nein (F-)	4	16

Sens = $39/(39+11) = 0,78$

Spez = $16/(16+4) = 0,8$

12. Danksagung

Mein Dank gilt OA Dr. med. Carsten Hädrich und Prof. Dr. med. Jan Dreßler, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Leipzig, für die Bereitstellung des interessanten Themas und insbesondere OA Dr. Carsten Hädrich für die gute fachliche Betreuung während der Promotionsarbeit.

Ich danke OA Dr. Andreas Fuchß für die Betreuung im Bereich der Zahnmedizin und die Bereitstellung der ersten Probenzähne.

Ein großer Dank geht an Frau Dr. Marita Ziepert (Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie der Universität Leipzig) für die kompetente Unterstützung bei den statistischen Berechnungen.

Ebenso danke ich Angela Huffziger für die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung der Röntgenaufnahmen und der Literaturbeschaffung.

Weiterhin gilt mein Dank allen genannten Firmen für die Bereitstellung der Materialien.

Meinen Eltern bin ich zu tiefem Dank für die allseitige Unterstützung während der gesamten Studienzeit verpflichtet.

Ein besonderer Dank geht an meinen Mann für die mentale und wissenschaftliche Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

13. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name, Vorname Dreißig, Anna

Geburtsname Findeisen

Geburtsdatum,-ort 10.10.1990, Wiesbaden

Schulbildung

1996-2000 Grundschule „Am Markt“, Raguhn

2000-2002 Sekundarschule, Raguhn

2002-2008 „Heinrich-Heine Gymnasium“, Bitterfeld-Wolfen

2008 Abitur

Studium

2008-2013 Studium der Zahnmedizin, Universität Leipzig

2009 Naturwissenschaftliche Vorprüfung

2011 Zahnärztliche Vorprüfung

2013 Staatsexamen

29.10.13 Approbation als Zahnärztin

Beruf

seit 2014 Assistenz Zahnärztin in der Gemeinschaftspraxis Dr.Ritter&Dr.Küsters,
Meisdorf

14. Ehrenwörtliche Erklärung

Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Quedlinburg, den 22.09.2016